

# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.Н. Мофа<sup>1</sup>, А.О. Жапекова<sup>2</sup>, Б.С. Садыков<sup>2</sup>, А.Е. Баккара<sup>1,2\*</sup>, М.Г. Сахан<sup>2</sup>, А.Д. Бекентаева<sup>2</sup>,  
З.А. Мансуров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>РГП на ПХВ «Институт проблем горения», ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, г. Алматы, Казахстан

Дата поступления:  
4 Апреля 2019

Принято на печать:  
24 Мая 2019

Доступно онлайн:  
6 Июля 2019

УДК: 665.58:661.12

## АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены результаты комплексного использования механохимической (МХО) и ультразвуковой обработки (УЗО) для получения высокодисперсного диоксида кремния фармацевтического и косметического назначения. Исходные частицы диоксида кремния частотой 99,9% подвергались МХО и УЗО в присутствии модификаторов (этиловый спирт, глицерин). Механохимическая обработка диоксида кремния в различных режимах как механического, так и ультразвукового воздействия с участием модификаторов, обеспечивают высокий уровень диспергации частиц, рыхлую или плотную структуру поверхностного слоя в зависимости от условий обработки порошка и их стабилизацию высокоактивного состояния.

*Ключевые слова:* механохимическая обработка, ультразвуковая обработка, диоксид кремния, модификатор, этиловый спирт, глицерин.

## Введение

Диоксид кремния (кремнезем) характеризуется многообразием и особенностями структурных форм и модификаций, что и определило его активное участие в формировании, как неорганических, полимерных так и элементоорганических соединений [1]. Одной из важнейших структурных особенностей диоксида кремния является присутствие на его поверхности гидроксильных (силанольных) групп. Именно силанольные группы являются центрами сорбции [2]. На них абсорбируются молекулы воды и органических соединений, имеющие полярные группы, посредством водородных связей. Реакционную способность кремнезема можно существенно повысить, обрабатывая поверхность различными неорганическими и металлоорганическими соединениями, а также подвергая механическому воздействию в присутствии различных модифицирующих добавок [3]. Масштаб структурной перестройки поверхности составляет нанометровые размеры. Направленное конструирование микросложения поверхности различным способом – это эффективный способ создания нанобразований и их комплексов с различной реакционной способностью, позволяющий регулировать

функциональные свойства материалов конкретного назначения [4, 5], в том числе используемые в качестве наполнителя различных композиционных систем. Большое внимание уделяется особенностям хемосорбции (этерификация) спиртов на поверхности кремнеземов, в результате которой происходит сильная деформация поверхностных тетраэдров, приводящая к возникновению активных центров [6]. Это имеет особое значение при использовании кремнезема в система фармацевтического и косметического назначения.

Наиболее эффективны для косметических препаратов аморфные пористые кремнеземы, так как их структурные характеристики (величина поверхности, диаметр и объем пор, размер частиц и их прочность) можно изменять в широком интервале. Аморфный кремнезем имеет следующие разновидности: аэросилы, аэросилогели (силохромы) и силикагели. Эффективность использования диоксида кремния в составе гелиевых композиций обусловлена тем, что он также образует коллоидные и полимерные системы, тем самым обеспечивается их структурная однородность. Это проявляется в частности при использовании его в гелиевых системах лечебно-косметического назначения для регулирования вязкости и загущения препарата.

\*Ответственный автор

E-mail: bakkara\_ayagoz@mail.ru (А. Е. Баккара).

Выбор кремнезема в качестве ингредиента мазевых композиций для лечебных и косметических препаратов основывается также и на том, что кремний является жизненно важным элементом для правильного функционирования многих человеческих органов [3]. Так, эластичность кожи, прямо пропорциональна содержанию кремния. Он обеспечивает также эластичность сосудов. Снижение содержания кремния приводит в частности к замедлению синтеза коллагена и эластина и как следствие к снижению эластичности кожи и образованию морщин, т.е. к старению. Поэтому использование кремнезема (диоксида кремния) в составе мазей и кремов фармацевтического и косметического назначения является вполне закономерным. Кроме того, его высокая сорбционная способность обеспечивает гидрофильность частиц и удерживает в коже значительное количество воды. Диоксид кремния сорбирует на себя белковые соединения (отмершие клетки кожи) и микроорганизмы, что приводит к очистке кожи. После такой очистки кожа способна усвоить значительно больше лекарственных и питательных веществ, содержащихся в препарате. Все это в совокупности и определяет использование диоксида кремния в препаратах лечебного и косметического назначения [7]. Использование аморфного высокодисперсного нанокремнезема в биомедицинских препаратах обусловлена его высокой растворимостью на 2–3 порядка выше, чем кристаллического [8, 9]. «Нанокремневые» косметические композиции, облегчая транспорт кремнийсодержащих частиц в соединительнотканную структуру кожи, замедляют процессы её старения, что и определяет эффективность их использования в составе мазей и кремов при создании новых лекарственных форм с использованием высокодисперсного кремнезема.

Задача состоит в том, чтобы найти оптимальный способ воздействия на кремнийсодержащие композиционные смеси, чтобы создать структурно-активное состояние системы направленного

действия. Для получения наноструктурированной системы используется механохимическая и ультразвуковая обработка (УЗО) аморфного диоксида кремния и получение наноразмерных неорганических носителей для композиций определенного лечебно-профилактического и косметического назначения, обеспечивающего решение различных проблем кожи, в том числе и преждевременное старение, в частности регенерацию и восстановление собственной структуры, усиливая ее защитные способности и жизнеспособность.

## Экспериментальная часть

Работа проводилась с использованием синтетического аморфного диоксида кремния чистотой 99,9%, с размером частиц до 200 мкм, которые не имеют четкой огранки, а характеризуются рыхлой пластинчатой структурой (рис. 1). Порошок имеет насыпную плотность 0,66 кг/м<sup>3</sup>, удельную поверхность 8,6 м<sup>2</sup>/г и электросопротивление 450 МОм·м.

Механохимическую обработку (МХО) порошков проводили в двух мельницах. Шаровая лабораторная мельница (активатор) МЛ-1р производитель ЗАО «ПАРИТЕТ» г. Екатеринбург, предназначена для тонкого мокрого или сухого измельчения материалов, емкость барабана 12 л, скорость вращения – 100 оборот/мин, мощность – до 0,55 кВт. Вторая – центробежно-планетарная мельница ЦПМ “Пульверизетте 5” производитель – FRITSCHE с объемом рабочей камеры 500 мм<sup>3</sup>, скорость вращения платформы 400 оборот/мин, ускорение движения размольных шаров 40g, потребляемая мощность энергии 1,5 кВт/ч. При измельчении варьировалось время измельчения и количество вводимых модифицирующих добавок. Обработка проводилась в 50% водном растворе этилового спирта, который вводился в количестве до 20% по отношению к массе обрабатываемого порошка, а также смеси этилового спирта с глицерином.

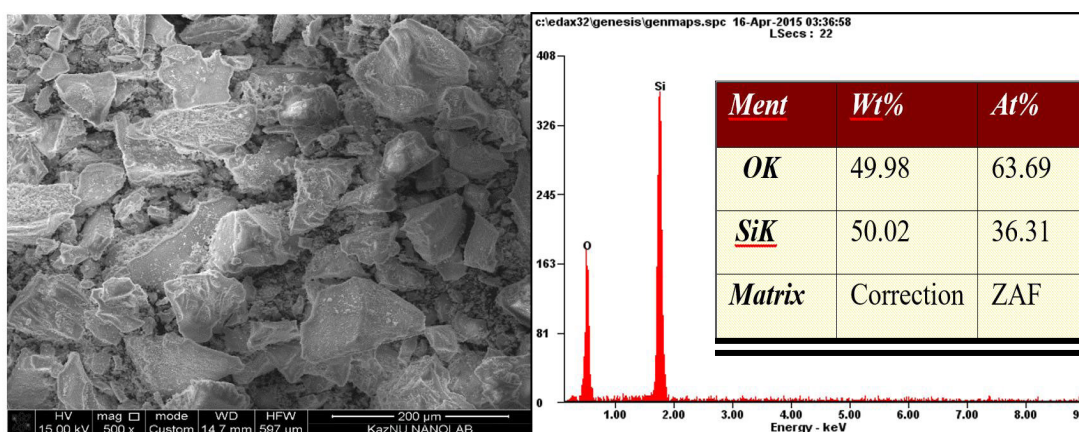


Рис. 1. Электронно-микроскопический и спектральный анализ диоксида кремния в исходном состоянии.

Ультразвуковая обработка (УЗО) проводилась в водной среде. Электроакустическим излучателем служили пьезоэлектрические резонансно настроенные преобразователи с частотой 40 кГц и мощностью 50W. УЗО проводилось при вариации времени воздействия. Системы с диоксидом кремния (кремнезем) обрабатывались в ультразвуковом многофункциональном аппарате «Малыш» модели УЗТА – 0,05/27-0 с частотой возбуждаемых колебаний 27 кГц и мощностью 100 ватт, производитель ООО «Центр ультразвуковых технологий», Алтайский край, г. Бийск.

После обработки порошок диоксида кремния подвергался исследованию структуры, морфологии, степени дисперсности и электрофизических свойств. Электронно-микроскопический анализ проводился на двух микроскопах: растровый электронный микроскоп Quanta 3D 200i Dual system, FEI и просвечивающий микроскоп Jem-100CX; U-100kv. Дисперсность порошка оценивалась на поляризационном оптическом микроскопе марки ПОЛАМ Р - 211, предназначенном для исследования кристаллических объектов в проходящем и отраженном свете. Увеличение микроскопа составляет от 19 до 720 крат. Минимальный размер конускопируемого зерна 0,012 мм. Метод седиментационного анализа использовался для более точной оценки доли высокодисперсной фракции в объеме порошка. Метод седиментационного анализа, основан на различной скорости оседания частиц различных размеров в гравитационном поле. Определение насыпной плотности порошков проводилось согласно ГОСТ 2211-94 и ИУС 992. Определение удельного электросопротивления проводилось с помощью цифрового мегаомметра UT501 и цифрового измерителя емкости DM6013L в специально разработанной схеме измерения удельной проводимости материалов.

## Результаты и обсуждение

Для получения диоксида кремния в высокодисперсном активном состоянии он подвергался измельчению в шаровой и планетарно-центробежной мельнице при вариации времени обработки от 10 до 120 минут. Обработка проводилась в водном растворе этилового спирта и глицерина, которые в качестве ПАВ способствуют измельчению и изменению структуры поверхностного слоя частиц.

В результате МХО происходит значительная диспергация частиц вплоть до наномасштабного уровня, которые агломерируют в композиции микронного размера. Для отработки оптимальных режимов МХО диоксида кремния были проведены поэтапно исследования изменения дисперсности и распределение объемной доли частиц по фракциям от времени обработки в мельницах различной мощности и последующей ультразвуковой обра-

ботки в присутствии водных растворов одноатомного этилового спирта и трехатомного – глицерина. Спиртовые добавки, способствуя диспергации, обеспечивают также формирование поверхностных слоев, капсулирующих частицу и сохраняющих ее активированное состояние. Кроме того, используемый спирт обеспечивает дезинфекцию обрабатываемого порошка, что имеет важное значение при последующем его использовании в препаратах фармацевтического и косметического назначения.

Распределение частиц по размерам оценивалось на поляризационном микроскопе. Степень дисперсности изменяется от времени измельчения, от вида и количества вводимых спиртовых добавок. После обработки диоксида кремния в шаровой мельнице в присутствии 20% водного раствора этилового спирта значительная доля порошка представлена частицами размером до 12 мкм. Ограничения в оценке уровня дисперсности связаны с разрешающей способностью микроскопа (рис. 2). Дополнительное введение глицерина в состав измельчаемого порошка способствует повышению степени дисперсности материала.

Последующая после МХО обработка порошка диоксида кремния ультразвуком в дистиллированной воде приводит к повышению уровня дисперсности материала. И чем продолжительнее обработка, тем выше дисперсность порошка (рис. 3).

При введении в дистиллированную воду этилового спирта и глицерина количество высокодисперсной фракции уменьшается до 50%. Как будет показано далее, это связано не столько с ухудшением процесса диспергации, обусловленного кавитационным эффектом, который в определенной степени связан с вязкостью среды обработки, но с формированием на поверхности частицы модифицированного слоя, капсулирующего ее в плотную оболочку.

МХО аморфного диоксида кремния в планетарно-центробежной мельнице при ускорении 40 g проводилась в присутствии 20% кристаллического диоксида кремния (кварца) для усиления эффекта диспергации в следствии высокой абразивной способности кварца и проявления экзоелектронной эмиссии при разрушении частиц кварца, что способствует активации обрабатываемого порошка аморфного диоксида кремния. Модифицирующими добавками также служили водный раствор этилового спирта и глицерина. МХО в более энергоемкой планетарно-центробежной мельнице обеспечивает более высокую степень дисперсности порошка за меньшее время обработки (рис. 4).

Введение в смесь порошка кроме этилового спирта еще и глицерина в таком случае приводит к снижению доли высокодисперсной фракции, что связано с агломерацией высокодисперсных частиц и их капсуляцией в органическую оболочку.

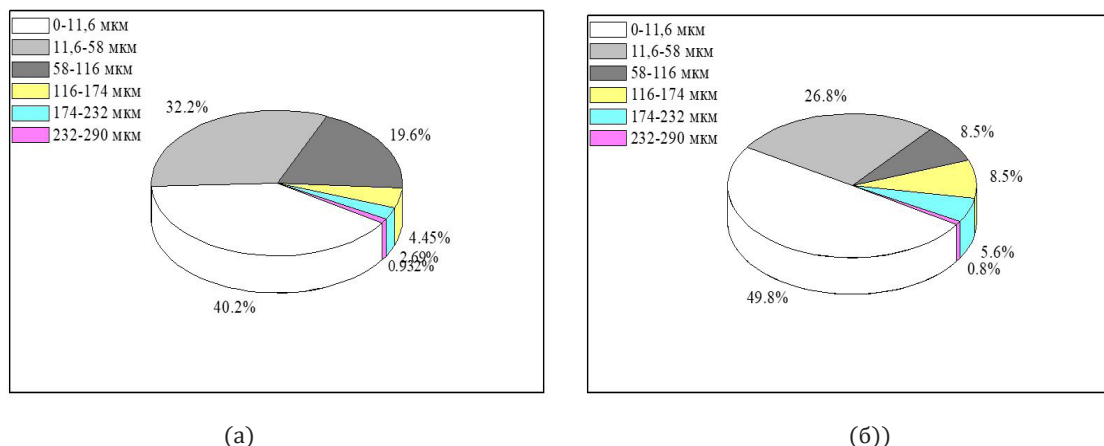


Рис. 2. Гистограммы распределения частиц диоксида кремния по фракциям после измельчения в шаровой мельнице в течение 60 мин в присутствии этилового спирта и глицерина: (а) – МХО с 20% этилового спирта; (б) – МХО с 20% этилового спирта и 10% глицерина.

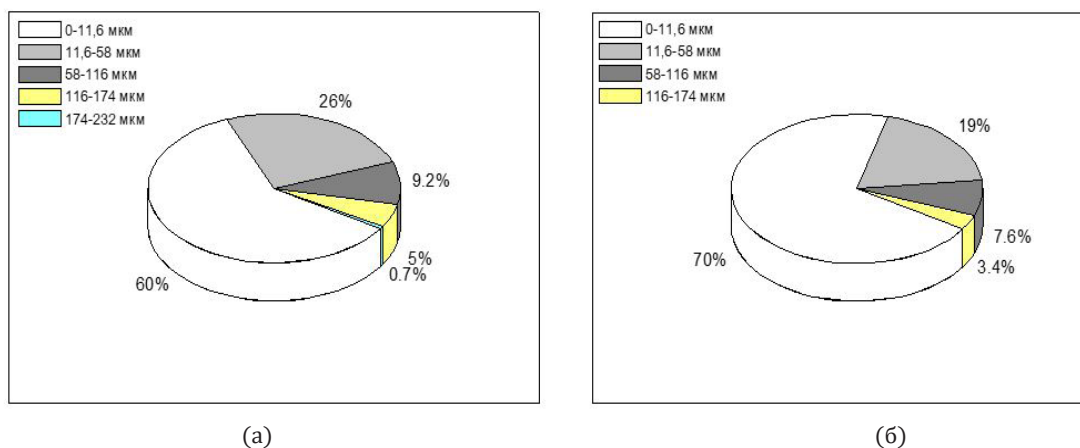


Рис. 3. Гистограммы распределения частиц диоксида кремния, предварительно измельченного в шаровой мельнице в течение 60 мин, по фракциям после УЗО: (а) – МХО с 20% этилового спирта, (б) – МХО с 20% этилового спирта и 10% глицерина.

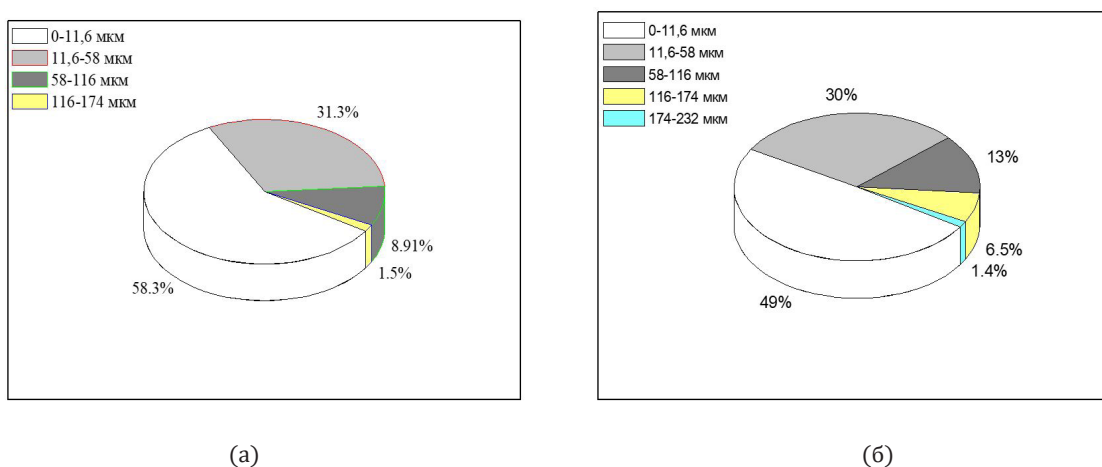


Рис. 4. Гистограммы распределения частиц диоксида кремния, предварительно измельченного в шаровой мельнице в течение 60 мин, по фракциям после УЗО: (а) – МХО с 20% этилового спирта; (б) – МХО с 20% этилового спирта и 10% глицерина.



При последующей после МХО ультразвуковой обработке порошка диоксида кремния эффект диспергации проявляется наиболее ярко. Практически весь объем порошка представлен частицами размером до 12 мкм (рис. 5).

После МХО и УЗО порошка диоксида кремния наблюдается не только изменение его дисперсности. Ряд особенностей имеет место и в изменении морфологии частиц, что наглядно следует из результатов исследования материала просвечивающей электронной микроскопией. В исходном состоянии частицы порошка имеют рыхлую пористую поверхность (рис. 6а). В процессе МХО происходит измельчение частиц так, что в объеме порошка кроме частиц микронного размера (в основном от 10 до 100 мкм) содержатся мелкие зернистые агрегаты (размером около 30–50 нм) и агрегаты частиц, состоящие из пленочных образований и округлых частиц. Сфероидальные частицы имеют около 100–200 нм в диаметре (рис. 6 в). Более продолжительная обработка (до 120 мин) в присутствии водного раствора этилового спирта приводит с одной стороны к получению более дисперсных частиц, а с другой - к агломерированию их в комплексы с высокой удельной поверхностью (рис. 6 г).

Эффект диспергирования и агломерирования усиливается при введении в обрабатываемую смесь глицерина. Порошок состоит из отдельных частиц сферической формы, закапсулированных в плотные пленочные образования, но в большей степени в нем присутствуют крупные агломераты из частиц наноразмерного масштаба (рис. 7). При ультразвуковой обработке диоксида кремния в водной среде, прежде всего, происходит эрозия поверхности частиц, откалывание и разрушение частиц до более мелких размеров. Это обусловлено тем, что при воздействии ультразвука на водные растворы в них возникает переменное звуковое давление [10]. Под действием такого давления жидкость попере-

менно испытывает сжатие и растяжение. При распространении ультразвуковой волны в жидкости: растягивающие усилия в области разрежения волны приводят к образованию в жидкости разрывов, т.е. мельчайших пузырьков, заполненных газом и паром, которые лопаются, создавая эффект микровзрывов, сопровождаемых локальным повышением температуры до 1000 °С и давлением до сотен атмосфер. Под воздействием такого кавитационного эффекта происходит разрушение как твердых частиц, так и микроорганизмов, что обеспечивает консервацию системы - важный фактор для композиций фармацевтического и косметического назначения.

Характер и степень разрушения зависят от времени обработки и состава водной среды (рис. 8). Главное, во всех случаях после УЗО частицы имеют рыхлую поверхность, что должно повышать адсорбционную способность частиц диоксида кремния, а это имеет важное значение при использовании его в качестве наполнителя в гелиевых системах фармацевтического и косметического назначения.

Таким образом, механохимическая обработка диоксида кремния в различных режимах как механического, так и ультразвукового воздействия с участием модификаторов, в качестве которых использовались одноатомный и трехатомный спирты, обеспечивающие высокий уровень диспергации частиц, рыхлую или плотную структуру поверхностного слоя в зависимости от условий обработки порошка.

Изменения дисперсности и морфологии, полученного при МХО и УЗО порошка диоксида кремния, приводят к ряду особенностей и изменению свойств исследуемого материала. В таблицах 1 и 2 приведены результаты по измерению плотности и электропроводности порошка диоксида кремния после различных режимов МХО и УЗО, а также доли фракции с размером частиц менее 5 мкм. Фракционный

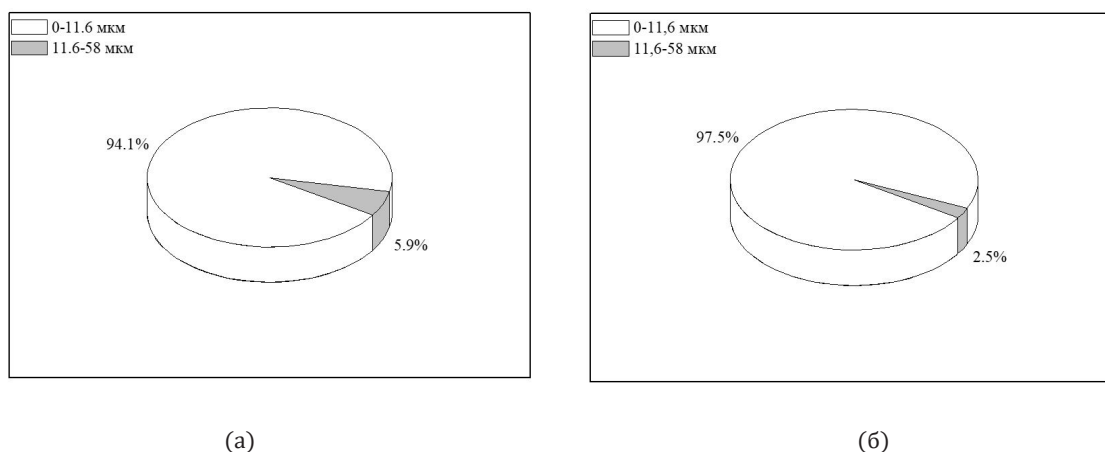


Рис. 5. Гистограммы распределения частиц диоксида кремния, предварительно измельченного в планетарно-центрифужной мельнице в течение 30 мин в присутствии 20% этилового спирта и 10% глицерина, по фракциям после УЗО: (а) - 30 мин УЗО; (б) - 60 мин УЗО.

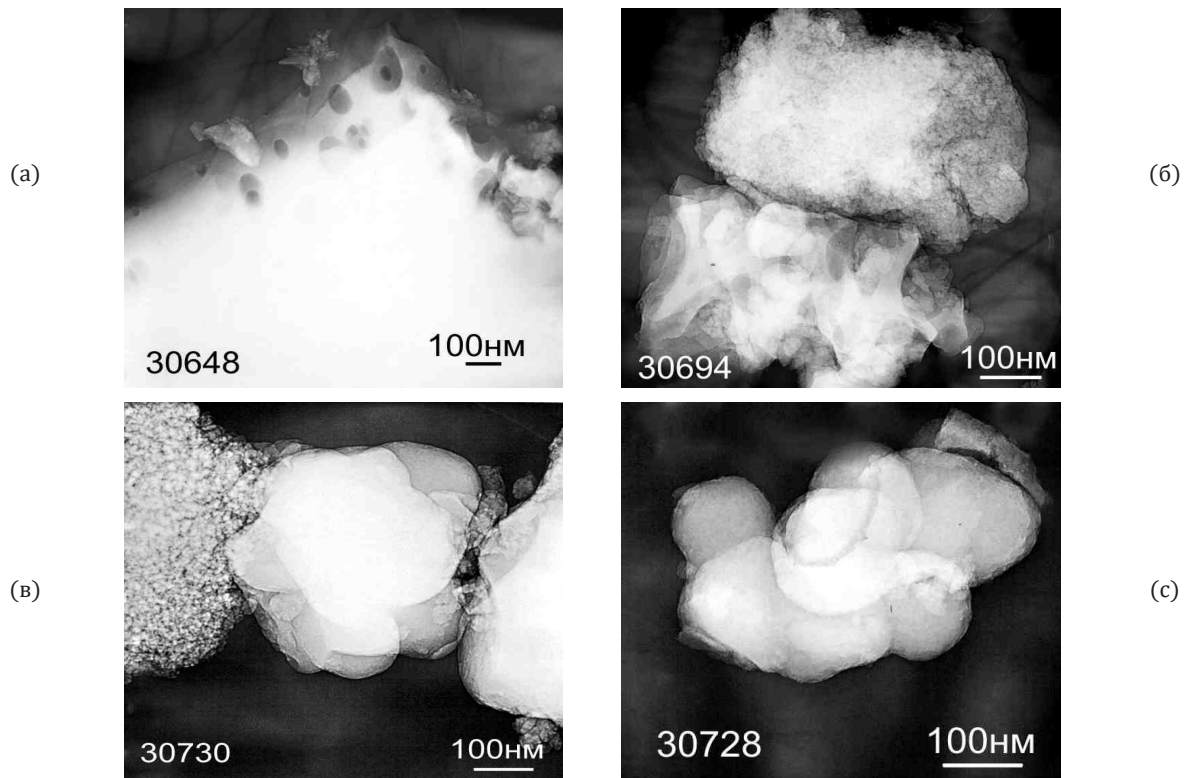


Рис. 6. Электронно-микроскопические снимки частиц диоксида кремния в исходном состоянии и после обработки в шаровой мельнице в водном растворе этилового спирта: (а) – в исходном состоянии; (б) – 30 мин МХО; (в) – 60 мин МХО; (г) – 120 мин МХО.

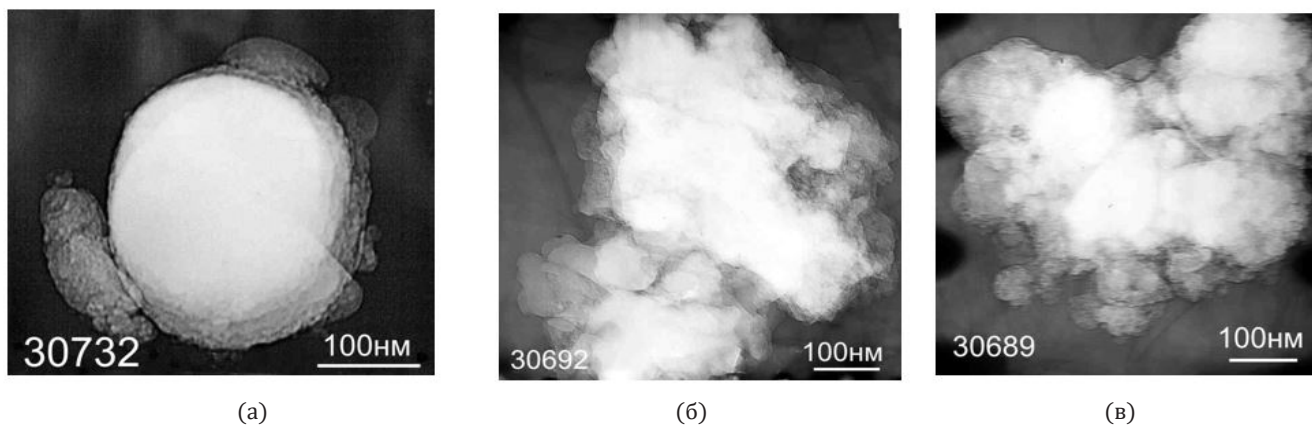


Рис. 7. Электронно-микроскопические снимки частиц диоксида кремния после МХО в шаровой мельнице в смеси водного раствора этилового спирта и глицерина.

состав определялся седиментационным анализом.

При измельчении аморфного диоксида кремния в шаровой мельнице с увеличением продолжительности обработки наблюдается повышение насыпной плотности, что коррелирует с увеличением доли высокодисперсной фракции до 27%, это обусловлено повышением плотности упаковки частиц порошка. С превышением 30% доли высокодисперсной фракции насыпная плотность снижается. Эффект измельчения усиливается при ультразвуковой обработке порошка, предварительно прошедшего МХО в присутствии этилового спирта и глицерина.

При этом, если в результате МХО аморфного диоксида кремния в присутствии модификаторов (водный раствор этилового спирта и глицерина) электросопротивление снижается, то при последующей УЗО происходит значительный рост показателя удельного электросопротивления. Эти изменения свидетельствуют о существенных изменениях как в структуре, так и в состоянии частиц порошка, что наглядно было показано результатами электронно-микроскопических исследований.

Обработка в планетарно-центрифужной мельнице приводит к более значительному изменению дисперсности частиц и изменению в соотношении

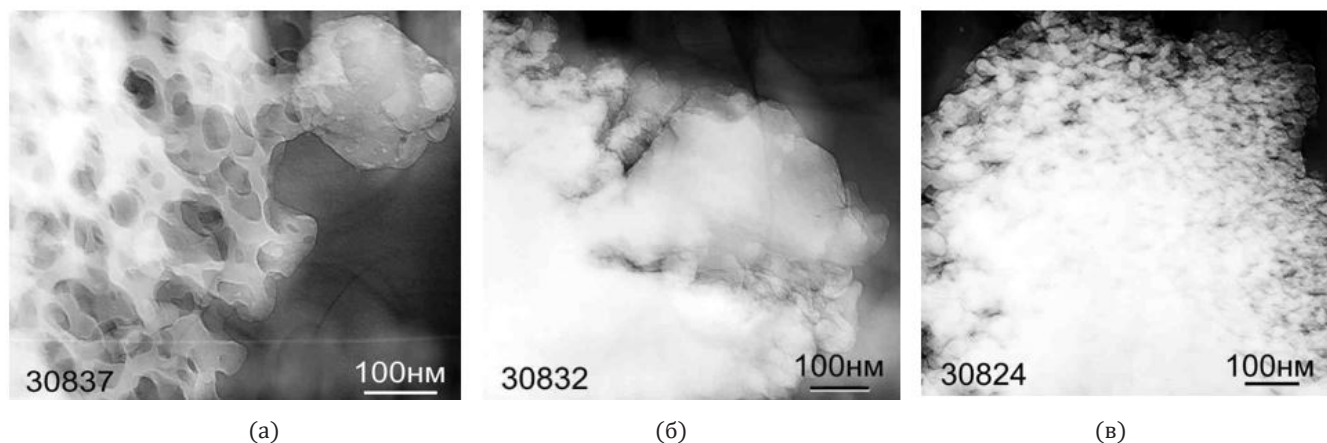


Рис. 8. Электронно-микроскопические снимки частиц диоксида кремния после МХО и УЗО.

Таблица 1

Значения плотности, электросопротивления и содержание фракции дисперсного диоксида кремния с размером частиц менее 5 мкм после обработки на шаровой мельнице

Материал, модификатор	Условия МХО и время, мин	УЗО, мин	Свойства дисперсных систем			
			Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельное сопротивление, МОм*м	Фракция до 5 мкм, %	
SiO <sub>2</sub> (аморф)			0,54	1116,9		
		20	0,54	69,9	3	
		40	0,50	69,6	5	
		60	0,45	57,2	10	
SiO <sub>2</sub> (аморф), 10% ВРЭСп*	МХО (ШМ**), 30 мин		0,85	9,2	15	
SiO <sub>2</sub> (аморф), 10% ВРЭСп	МХО (ШМ), 60 мин		0,68	17,2	20	
SiO <sub>2</sub> (аморф), 20% ВРЭСп	МХО (ШМ), 60 мин		0,72	25,7	25	
		50%	60 мин	1,22	19,5	37
		50%	240 мин	1,30	9,7	58
SiO <sub>2</sub> (аморф), 50% ВРЭСп	МХО (ШМ), 240 мин		1,17	56,5?	75	
		40	1,17	56,5?	75	
SiO <sub>2</sub> (аморф), 10% ВРЭСп+10% Гл***	МХО (ШМ), 30 мин		0,95	11,3	24	
	МХО (ШМ), 60 мин		0,96	5,8	27	
SiO <sub>2</sub> (аморф), 10% ВРЭСп+10% Гл	60 мин	20	0,86	255	35	
		40	0,80	215	41	
			0,73	169	47	

\*ВРЭСп – водный раствор этилового спирта, \*\*ШМ – шаровая мельница, \*\*\* Гл – глицерин

фракций, что проявляется в значениях насыпной плотности порошка (таблица 2). Это особенно наглядно проявляется после ультразвуковой обработки. Для порошка, измельченного только в присутствии водного раствора этилового спирта при последующей УЗО происходит повышение насыпной плотности и, причем от времени УЗО значения плотности практически не изменяются, при этом значительно возрастает количество 5 мкм фрак-

ции. Одновременно происходит значительное повышение удельного сопротивления порошка. При использовании в составе модификатора и глицерина насыпная плотность порошка значительно снижается при превышении высокодисперсной фракции от 40 и почти до 60%. Удельное сопротивление при этом резко понижается. Получается система с более высокой проводимостью, а, следовательно, и с более высокой активностью.

Таким образом, результаты дисперсионного анализ полученного порошка после УЗО показали, что на 50-60% он состоит из частиц размером до 5 мкм. Вариации времени МХО и УЗО, а также соотношение вводимых модификаторов (этиловый спирт и глицерин) показали, что для получения высокодисперсной смеси на основе  $\text{SiO}_2$ , оптимальное время обработки в шаровой мельнице не должно превышать 60 мин, в планетарно-центробежной 20-30 мин с последующей ультразвуковой обработкой в течение 60 мин. Состояние получаемых порошков оценивалось по изменению электросопротивления, как одного из наиболее чувствительных показателей структурных изменений обрабатываемой системы, обеспечивающих активность и функциональные особенности смеси. Удельное электросопротивление порошка в результате УЗО снижается почти на порядок, т.е. в системе в процессе УЗО происходит накопление заряженных частиц, которые будут обеспечивать и химическую активность системы.

Как следует из электронно-микроскопического анализа морфология и структура частиц диоксида кремния после МХО и УЗО обеспечивают высокие показатели по удельной поверхности полученного материала, а, следовательно, эффективность использования его в качестве наполнителя различных композиционных систем, что особенно важно при создании композитов на гелиевой основе фармацевтического и косметического назначения. Такие композиции должны представлять однородную нанодисперсионную систему, функциональ-

ные свойства которой будут во многом зависеть от качества наполнителя.

Таким образом, механохимическая обработка диоксида кремния в различных режимах как механического, так и ультразвукового воздействия с участием модификаторов, в качестве которых использовались одноатомный и трехатомный спирты, обеспечивают высокий уровень диспергации и стабилизацию высокоактивного состояния частиц.

## Заключение

1. В результате МХО в мельницах динамического действия в присутствии этилового спирта и глицерина происходит значительная диспергация частиц аморфного диоксида кремния. Последующая обработка порошка диоксида кремния ультразвуком в дистиллированной воде, обеспечивает дальнейшее измельчение частиц вплоть до наномасштабного уровня.

2. Установлены оптимальные режимы МХО на мельницах различной мощности и последующей ультразвуковой обработки для получения высокодисперсных порошков диоксида кремния. Спиртовые добавки выполняют роль ПАВ, способствуя диспергации, и обеспечивают модификацию поверхности частиц, стабилизацию состояния и дезинфекцию обрабатываемого порошка, что необходимо при последующем его использовании в препаратах фармацевтического и косметического назначения.

**Таблица 2**

Значения плотности, электросопротивления и доля фракции порошка менее 5 мкм после обработки в планетарно-центробежной мельнице

Материал, модификатор	Условия МХО и время, мин	УЗО, мин	Свойства порошковых систем		
			Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельное сопротивление, МОм*м	Фракция до 5мкм, %
$\text{SiO}_2$ (аморф)+20% кварца, 20% ВРЭСп*	МХО(ПЦМ**) 20		0,77	7,7	22
	30		0,73	6,5	27
	40		0,73	4,7	38
$\text{SiO}_2$ (аморф)+20% кварца, 20% ВРЭСп	40	20	0,94	484,2	29
		40	0,96	444,0	38
		60	0,96	457,2	45
$\text{SiO}_2$ (аморф), +20% кварц+10% ВРЭСп+10% Гл***	МХО(ПЦМ), 20		0,72	25,7	28
	30		0,67	18,9	35
	40		0,62	15,5	39
$\text{SiO}_2$ (аморф), +20% кварц+10% ВРЭСп+10% Гл***	40	20	0,58	2,2	41
		40	0,51	3,1	49
		60	0,46	4,8	58

\*ВРЭСп – водный раствор этилового спирта, \*\*ПЦМ – планетарно-центробежная мельница, \*\*\*Гл – глицерин



3. Установлено, что после УЗО частицы имеют рыхлую поверхность, это повышает адсорбционную способность частиц диоксида кремния и эффективность использования его в качестве наполнителя в гелиевых системах фармацевтического и косметического назначения.

4. Состояние получаемых порошков диоксида кремния оценивалось по изменению электросопротивления, как наиболее чувствительного показателя структурных изменений обрабатываемой системы, обеспечивающих активность и функциональные особенности смеси. Установлено, что удельное электросопротивление порошка в результате УЗО снижается почти на порядок, следовательно, в системе происходит накопление заряженных частиц, которые обеспечивают химическую активность системы.

## Список литературы

- [1]. Айлер А. Химия кремнезема / Пер. с англ. к.ф.-м. н. Журавлев Л.Т. под ред. д.т.н. Прянишникова В.П. - М.: Мир, 1982. Ч.1-416 с., Ч.2-712 с.
- [2]. Тарасевич Ю.И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. - Киев: Наукова думка, 1988. - 248 с.
- [3]. Мансуров З.А., Мофа Н.Н., Шабанова Т.А. Механохимическая обработка, особенности структуры, свойств и реакционная способность СВС-систем на основе природных материалов. Часть 1: Механохимический синтез высокодисперсных наноструктурированных систем на основе кварца // Инженерно-физический Журнал. - 2013. - Том 86, №4. - С. 793-800.
- [4]. Mansurov Z.A., Mofa N.N., Shabanova T.A. Hybride, nanostructured materials of special purpose on the basis of silicon dioxide // Advanced Engineering Ceramics and Composites. - 2011. - Vol. 484. - P. 230-240.
- [5]. Тертых В.А., Белякова Л.А. Химические реакции с участием поверхности кремнезема. - Киев: Наукова думка, 1991. - 264 с.
- [6]. Патент US № 2517635, опубл. 10.01.2013 Бюлл. № 1. Бэйг А. А., Декнер Д.Э., Хьюз И.А. Отбеливающая композиция, содержащая аморфный кварц. Заявка № 2011117013/15 от 24.11.2009.
- [7]. Патент РФ № 2 277 430, опубл. 10.06.2006 Бюлл. № 16. Аитова Е. Н., Тульский В. С. Косметическое средство, обладающее тонизирующим, омолаживающим действием (варианты). Заявка № 2004136187/15 от 15.10.2004.
- [8]. Потапов В., Мурадов С., Сивашенко В., Рогатых С. Нанодисперсный диоксид кремния: применение в медицине и ветеринарии // Наноиндустрия. - 2012. - Том 3, №33. - С.32-36.
- [9]. Ivkovic S., Baranek T., Bendzko P., Schulz J. TMAZ nanoparticles as potential drugs influencing the cellular signal transduction pathways. - Nanotechnology. Medical Applications. - 2005, - V.1. P.85-88.
- [10]. Абрамов О.В., Харбенко И.Г., Швецла Ш. Ультразвуковая обработка материалов. - М.: Машиностроение. - 1984. - 346 с.

## Арнайы мақсаттағы кремнийдің жоғары дисперсті диоксидін алу үшін механикалық және ультрадыбысты өңдеуді кешенді пайдалану

Н.Н. Мофа<sup>1</sup>, А.О. Жапекова<sup>2</sup>, Б.С. Садыков<sup>2</sup>, А.Е. Баққара<sup>1,2\*</sup>, М.Г. Сахан<sup>2</sup>, А.Д. Бекентаева<sup>2,3</sup>, З.А. Мансуров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр көш., 172, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, эл-Фараби даң., 71, Алматы қ., Қазақстан

## АНДАТПА

Берілген мақалада фармацевтикалық және косметикалық мақсаттағы кремнийдің жоғары дисперсті диоксидін алу үшін механохимиялық (МХӨ) және ультрадыбыстық өңдеуді (УДӨ) кешенді пайдалану нәтижелері келтірілген. Бастапқы бөлшектерінің тазалығы 99,9% кремний диоксиді модификаторлардың (этил спирті, глицерин) қатысуымен МХӨ және УДӨ ұшыраған. Модификаторлардың қатысуымен механикалық, сондай-ақ ультрадыбыстық өңдеудің түрлі режимдерінде кремний диоксидін механикалық өңдеу бөлшектердің диспергациясының жоғары деңгейін, ұнтақты өңдеу шарттарына және олардың жоғары белсенді күйін тұрақтандыруға байланысты беткі қабаттың бос немесе тығыз құрылымын қамтамасыз етеді.

*Түйінді сөздер:* механикалық өңдеу, ультрадыбыстық өңдеу, кремний диоксиді, модификатор, этил спирті, глицерин.

## Complex use of mechanochemical and ultrasonic processing to obtain highly dispersed silicon dioxide for special purposes

N.N. Mofa<sup>1</sup>, A.O. Zhapekova<sup>2</sup>, B.S. Sadykov<sup>2</sup>, A.Ye. Bakkar<sup>1,2\*</sup>, M.G. Sakhan<sup>2</sup>, A.D. Bekentaeva<sup>2</sup>, Z.A. Mansurov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Combustion Problems, st. Bogenbai batyr, 172, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi ave., 71, Almaty, Kazakhstan

## ABSTRACT

This paper presents the results of the integrated use of mechanochemical (MCT) and ultrasonic treatment (UST) to obtain highly dispersed silicon dioxide for pharmaceutical and cosmetic purposes. The initial particles of silicon dioxide with a frequency of 99.9% were subjected to MCT and UST in the presence of modifiers (ethyl alcohol, glycerin). Mechanochemical treatment of silicon dioxide in different modes of both mechanical and ultrasonic action with the participation

of modifiers, provide a high level of dispersion of particles, loose or dense structure of the surface layer depending on the conditions of powder processing and their stabilization of the highly active state.

*Keywords:* mechanochemical treatment, ultrasonic treatment, silicon dioxide, modifier, ethyl alcohol, glycerin.