

Технология переработки молока с применением цеолита¹

И. А. Смирнова¹, А. К. Какимов², Е. С. Жарыкбасов^{2,*} 

¹ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

² Государственный университет имени Шакарима города Семей,
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А

Дата поступления в редакцию: 04.04.2019

Дата принятия в печать: 21.06.2019

*e-mail: erlan-0975@mail.ru



© И. А. Смирнова, А. К. Какимов, Е. С. Жарыкбасов, 2019

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния технологических параметров фильтрации с применением цеолита области в качестве сорбционно-фильтрующего материала на изменение содержания витаминов, минеральных веществ, физико-химических и органолептических показателей молока. Для проведения комплексного экспериментального исследования была разработана технологическая схема. Согласно разработанной схеме молоко пропускали через фильтр, содержащий от 100 г до 200 г цеолита, под давлением с частотой оборотов насоса от 300 об/мин до 400 об/мин. Установлено, что увеличение частоты оборотов насоса в процессе фильтрации до 400 об/мин в фильтрах приводит к значительному изменению содержания в молоке минеральных веществ, витаминов А и Е. Наблюдается понижение содержания ионов железа, цинка и фосфора в молоке после фильтрации. Содержание же таких элементов, как натрий, калий, кальций и магний повышается. Содержание витамина А после фильтрации понижается с 24 до 23,9–23,8 мкг/на 100 л молока, содержание витамина Е понижается с 0,097 до 0,095–0,092 мг/на 100 л молока. В результате исследования влияния процесса фильтрации на изменение физико-химических показателей молока установлено, что с повышением частоты оборотов насоса до 400 об/мин и содержания цеолита в фильтрах до 150 г и 200 г титруемая кислотность молока понижается до 15 °Т. Органолептические показатели молока в процессе фильтрации не изменяются. На основании проведенных исследований установлено, что к наиболее оптимальным параметрам фильтрации молока с применением природного цеолита относится создание давления потока жидкости при частоте оборотов насоса 300 об/мин (объемная производительность насоса 10 л/мин или 600 л/час) и при содержании цеолита в фильтрах 200 г (80 % от объема фильтра).

Ключевые слова. Молоко, природный цеолит, сорбционно-фильтрующий материал

Для цитирования: Смирнова, И. А. Технология переработки молока с применением цеолита / И. А. Смирнова, А. К. Какимов, Е. С. Жарыкбасов // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 245–252. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-245-252>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

Milk Processing Technology Using Zeolite

I.A. Smirnova¹, A.K. Kakimov², E.S. Zharykbassov^{2,*} 

¹ Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650056, Russia

² Shakarim State University of Semey,
20A, Glinka Str., Semey, 071412, Kazakhstan

Received: April 04, 2019

Accepted: June 21, 2019

*e-mail: erlan-0975@mail.ru



© I.A. Smirnova, A.K. Kakimov, E.S. Zharykbassov, 2019

Abstract. The present research features the effect of technological parameters of zeolite filtration on the content of vitamins, minerals, and physico-chemical and sensory properties of milk. The zeolite was obtained from the Tarbagatai deposit (East of Kazakhstan). The authors developed a flow chart for a comprehensive experimental study of the technological process. According to the developed technological scheme, the milk went through a filter containing 100–200 g of zeolite, under pressure at a pump speed of 300–400 rpm. When the frequency of the pump rpm was increased to 400 rpm, it resulted in a significant change in the content of minerals and vitamins A and E in the milk. However, the filtration triggered a decrease in the content of iron, zinc, and phosphorus ions, while the content of sodium, potassium, calcium, and magnesium increased. The content of vitamin A after the filtration decreased from 24 to 23.9–23.8 mg per 100 liters of milk, while the content of vitamin E decreased from 0.097 to 0.095–0.092 mg per 100 liters of milk. Thus, the filtration process affected the physicochemical parameters of the milk: the frequency of the pump

¹ Материал опубликован в рамках II Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии». 13–14 мая 2019 г., Кемерово, Кемеровский государственный университет.

speed reached 400 rpm, and the content of zeolite in the filters increased up to 150 g and 200 g, while the titrated acidity fell down to 15°T. The sensory properties of the milk did not change during the filtration process. The optimal parameters for zeolite filtration of milk were established as follows: pump speed = 300 rpm; pump volumetric capacity = 10 l/min or 600 l/h; zeolite content = 200 g (80% of the filter volume).

Keywords. Milk, natural zeolite, sorption-filtering material

For citation: Smirnova IA, Kakimov AK, Zharykbassov ES. Milk Processing Technology Using Zeolite. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):245–252. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-245-252>.

Введение

Для обеспечения безопасности молочных продуктов, производимых в экологически неблагоприятных регионах, большое внимание уделяется применению цеолита для переработки молочного сырья с повышенным содержанием токсичных элементов. Перспективность использования цеолита в пищевой промышленности объясняется его способностью проявлять молекулярно-ситовые свойства, т. е. тенденцию к избирательному поглощению одних ионов или молекул перед другими в процессах адсорбции и ионного обмена [1, 2]. Уникальные свойства цеолита нашли широкое применение в пищевой промышленности для очистки питьевой воды, алкогольных и безалкогольных напитков, соков, чая, пива, вина, растительных масел и др. от белков, остатков пестицидов, токсинов, ионов тяжелых металлов, изотопов радионуклидов и других ксенобиотиков [3–5]. Так, для очистки растительного масла от соапстока и адсорбции красящих веществ доказана возможность применения цеолита в качестве фильтрующей перегородки на вертикальных конических центрифугах [6]. Для очистки растительного масла от негидратируемых фосфатидов проведена модернизация сепаратора СЦ-3 с применением природного цеолита [7]. Для повышения вкусовых качеств водки предложен способ очистки спиртовых и водно-спиртовых растворов от летучих примесей с применением шунгита и клиноптилолита [8, 9].

В настоящее время известно несколько работ, посвященных применению цеолита в качестве сорбционного материала для понижения содержания токсичных элементов в молочном сырье. Так, для очистки молока от радионуклидов разработано устройство с адсорбционной колонкой, заполненной сорбентами. В качестве сорбента используется шивертуинский цеолит [10]. Для понижения содержания цезия в молоке применяется ионообменная установка РЗ-ОУИ с двумя ионообменными колонками, в каждую из которых загружается цеолит. После очистки содержание радиоцезия в молоке уменьшилось в 10 раз (и более) в сравнении с его исходным уровнем. Установлено, что ионообменная дезактивация цеолитом незначительно повлияла на основные физико-химические показатели молока [11]. С применением цеолита Сокирницкого месторождения разработана фильтрационная установка для понижения содержания цезия и стронция в молоке [12]. На основе анализа литературных данных установлено, что цеолиты нашли разностороннее применение во всех отраслях промышленности, в том числе и в пищевой промыш-

ленности. Наряду с этим, опубликовано незначительное количество научно-исследовательских работ, направленных на использование природных цеолитов для очистки молока от токсичных элементов.

Учитывая актуальность применения цеолита в пищевой промышленности, в результате собственных исследований разработан технологический способ понижения токсичных элементов в молочном сырье с применением цеолита Тарбагатайского месторождения Восточно-Казахстанской области. В цеолите данного месторождения установлено до 77 % клиноптилолита и высокое соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [3, 6]. Для апробации технологических режимов применения цеолита для очистки молока создан экспериментальный стенд для фильтрации молочного сырья. Основным структурным элементом экспериментального стенда является разборный фильтр, в который помещается цеолит.

Основная цель работы – исследование влияния технологических параметров фильтрации с применением цеолита на изменение состава и свойств молочного сырья.

Объекты и методы исследования

Для фильтрации в пастбищный период было отобрано молочное сырье из частных хозяйств 10 населенных пунктов трех районов (Абайского, Аягоского и Уржарского), расположенных в юго-восточном направлении со стороны бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона. Перед фильтрацией образцы молока, полученные из разных регионов, были смешаны. Для проведения комплексного экспериментального исследования технологического процесса фильтрации молока с применением цеолита была разработана технологическая схема. В соответствии с технологической схемой молоко пропускали через фильтр под давлением с разной частотой оборотов насоса от 100 об/мин до 400 об/мин.

В работе были проведены экспериментальные исследования влияния технологических параметров фильтрации с применением цеолитов на изменение содержания токсичных элементов в молочном сырье. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшее изменение токсичных элементов (радиоактивных элементов, тяжелых металлов) наблюдается при фильтрации молока под давлением с частотой оборотов насоса 300–400 об/мин.

На первом этапе, согласно разработанной технологической схеме, молоко пропускали через фильтр, содержащий 100 г цеолита, под давлением с частотой

Таблица 1. Изменение содержания минеральных веществ в молоке в процессе фильтрации с частотой оборотов насоса 300 об/мин

Table 1. Changes in the content of minerals in the milk during the filtration at 300 rpm

Молочное сырье	Содержание химических элементов, мг/100 г								
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Zn	Mn
До фильтрации	57	146	128,9	12,6	91,2	0,056	0,012	0,32	0,004
После фильтрации через 100 г Ц*	58	146	129,6	12,6	91,0	0,053	0,012	0,31	0,004
После фильтрации через 150 г Ц*	62	149	131,5	12,8	90,6	0,051	0,011	0,26	0,004
После фильтрации через 200 г Ц*	65	153	132,8	13,1	90,0	0,049	0,011	0,21	0,003

оборотов насоса от 300 об/мин до 400 об/мин. На втором этапе молоко пропускали через фильтр, содержащий 150 г цеолита, при тех же условиях. На третьем этапе фильтрацию молока проводили на фильтре, содержащий 200 г цеолита. Учитывая, что фильтрация молока с применением цеолита основана на процессе экзотермической адсорбции, экспериментальные исследования проведены при температуре 18–20 °С, т. к. она считается наиболее оптимальной температурой адсорбции по данным В. С. Комарова.

На основе анализа литературных источников установлено, что одной из характерных особенностей цеолитов является ионный обмен. Вместе с тем процесс сорбции зависит от соответствия входных отверстий цеолитного каркаса и размера замещающих ионов. Цеолит способен проявлять сорбционные свойства в отношении минеральных веществ и соединений, имеющих диаметр молекул меньше диаметра входных «окон» пористой структуры цеолита [13–16]. Также российскими учеными, на основании исследования кинетики сорбции витамина Е на клиноптилолитовом туфе, установлено, что данный природный минерал сорбирует витамин Е [17]. В связи с этим было исследовано изменение содержания витаминов и минеральных веществ, органолептических и физико-химических показателей молочного сырья в процессе фильтрации с применением цеолита в качестве сорбционно-фильтрующего материала.

Исследования по содержанию минеральных веществ в молоке проведены на жидко-плазменном спектрометре «VARIAN 820-IGPMS» (фирма «VARIAN», Австралия). Для подготовки аналитических образцов используется метод автоклавного разложения в две стадии. Метод основан на минерализации образцов проб в герметично замкнутом объеме аналитического автоклава под воздействием повышенной температуры и давления. Для определения витаминов применены колориметрический и спектрофотометрический методы. Для исследования физико-химических показателей молока были применены стандартные методы.

трический и спектрофотометрический методы. Для исследования физико-химических показателей молока были применены стандартные методы.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследовано изменение содержания минеральных веществ в молочном сырье в процессе фильтрации. Результаты исследования представлены в таблицах 1 и 2.

Как видно из таблицы 1, в молоке в процессе фильтрации незначительно увеличивается содержание катионов натрия, калия, кальция и магния. Увеличение содержания данных катионов в молоке в процессе фильтрации, по-видимому, связано с тем, что катионы натрия, калия, кальция и магния относятся к ионообменным катионам цеолита. Содержание остальных исследуемых минеральных веществ в молоке после фильтрации изменяется незначительно.

Как видно из таблицы 2, содержание исследуемых минеральных веществ в молоке в процессе фильтрации при увеличении частоты оборотов насоса изменяется больше, чем при фильтрации со скоростью оборотов насоса 300 об/мин. Наблюдается значительное понижение содержания отдельных минеральных веществ в молоке после фильтрации, например, ионов железа, цинка и фосфора. Содержание таких элементов, как натрий, калий, кальций и магния повышается. При этом содержание натрия повышается в большей степени (на 7,9 %), чем содержание остальных трех элементов. Содержание калия повышается на 2,7 %, кальция на 0,45 %, магния на 3,8 %. Исследованиями ряда ученых установлено, что степень обмена катиона натрия, содержащихся в цеолите, намного выше, чем степень обмена других катионов, что объясняет изменение содержания в молоке данного катиона [18–20]. Значительное изменение содержания минеральных веществ в молоке с увеличением частоты оборотов насоса связано с повышением скорости потока жидкости и с уменьше-

Таблица 2. Изменение содержания минеральных веществ в молоке в процессе фильтрации с частотой оборотов насоса 400 об/мин

Table 2. Changes in the content of minerals in the milk during filtration at 400 rpm

Молочное сырье	Содержание химических элементов, мг/100 г								
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Zn	Mn
До фильтрации	57	146	128,9	12,6	91,2	0,056	0,012	0,32	0,004
После фильтрации через 100 г Ц*	58	146	129,6	12,6	91,0	0,053	0,012	0,31	0,004
После фильтрации через 150 г Ц*	63	148	133,3	12,9	90,1	0,050	0,01	0,29	0,004
После фильтрации через 200 г Ц*	68	152	133,9	13,4	88,7	0,047	0,01	0,26	0,003

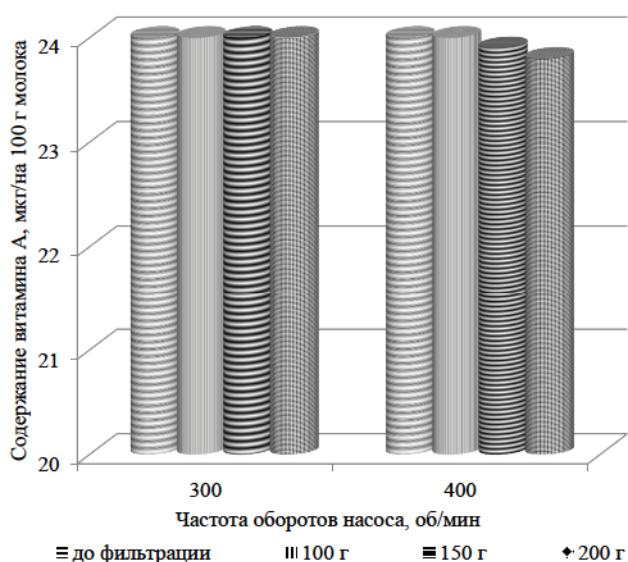


Рисунок 1. Изменение содержания витамина А в молоке после фильтрации

Figure 1. Changes in the content of vitamin A in the milk after filtration

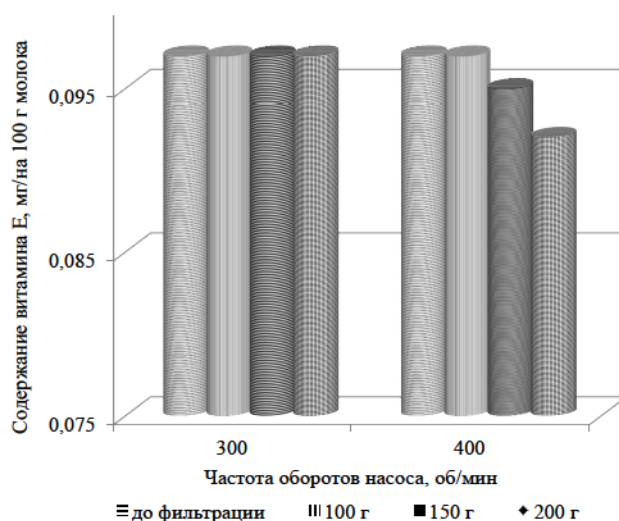


Рисунок 3. Изменение содержания витамина Е в молоке после фильтрации

Figure 3. Changes in the content of vitamin E in the milk after filtration

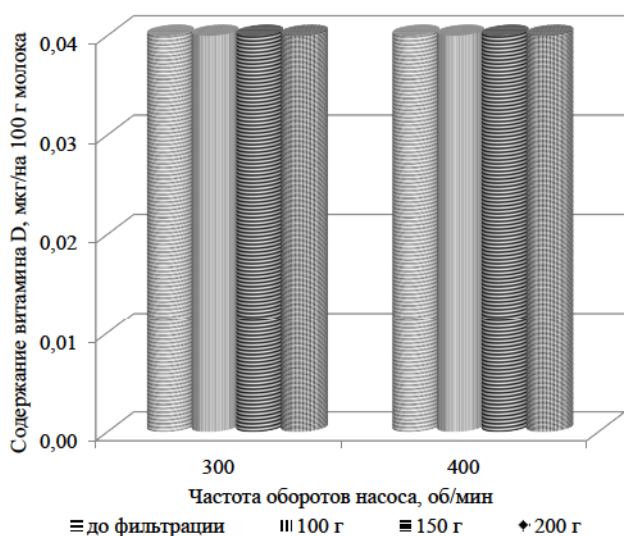


Рисунок 2. Изменение содержания витамина D в молоке после фильтрации

Figure 2. Changes in the content of vitamin D in the milk after filtration

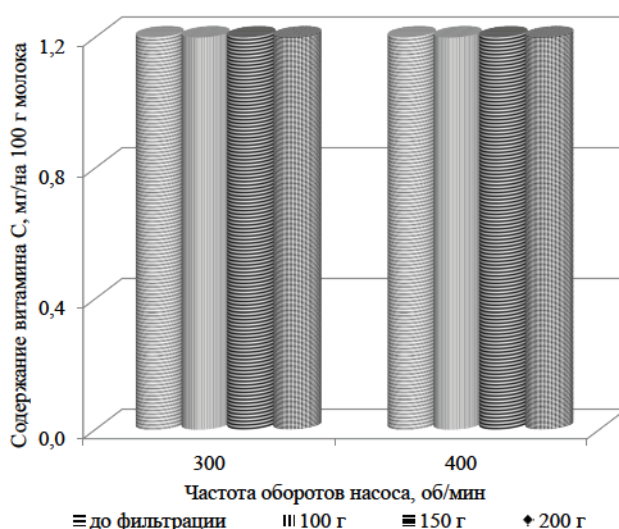


Рисунок 4. Изменение содержания витамина С в молоке после фильтрации

Figure 4. Changes in the content of vitamin C in the milk after filtration

нием диффузионного сопротивления при прохождении катионов с меньшим диаметром в окна пористой структуры цеолита, что приводит к повышению активности данных катионов.

На следующем этапе исследовано изменение витаминов (А, D, Е и С) в процессе фильтрации молока. Результаты исследования представлены на рисунках 1–4.

На основании проведенных исследований установлено, что процесс фильтрации при различных технологических параметрах с применением цеолита не повлиял на изменение содержания в молоке витаминов D и С. Как видно из рисунков 1 и 3, с увеличением частоты оборотов насоса до 400 об/мин и

с увеличением количества цеолита в фильтрах от 150 до 200 г содержание витаминов А и Е в молоке после фильтрации понижается. Так, при фильтрации молока через фильтр, содержащий 150 г цеолита, содержание витамина А понижается с 24 до 23,9 мкг/на 100 л молока. Содержание витамина Е понижается с 0,097 до 0,095 мг/на 100 л молока. С увеличением количества цеолита до 200 г в фильтрах содержание витамина А понижается с 24 до 23,8 мкг/на 100 л молока. Содержание витамина Е понижается с 0,097 до 0,092 мг/на 100 л молока.

Результаты исследования изменения физико-химических показателей молока в процессе фильтрации представлены в таблицах 3 и 4.

Как видно из таблицы 3, в процессе фильтрации молока на экспериментальном стенде с частотой оборотов насоса 300 об/мин титруемая кислотность молочного

Таблица 3. Физико-химические показатели молока в процессе фильтрации с частотой оборотов насоса 300 об/мин

Table 3. Physical and chemical properties of milk during filtration at 300 rpm

Наименование показателя	Норма			
	Молоко до фильтрации	Молоко после фильтрации в фильтрах с содержанием цеолита		
		100 г	150 г	200 г
Кислотность, °Т	19	18		
Плотность, г/см ³	1,028	1,028		
Массовая доля жира, %	5,5	5,5		
Массовая доля сухих веществ, %	12	12		
Массовая доля белка, %	2,89	2,89		

сырья изменилась до 18 °Т. Это связано с незначительным изменением состава фосфорно-кислых солей, влияющих на титруемую кислотность молока.

Повышение частоты оборотов насоса до 400 об/мин в процессе фильтрации с содержанием цеолита в фильтрах 150 г и 200 г приводит к понижению титруемой кислотности молока до 15 °Т (табл. 4). Понижение титруемой кислотности молока можно объяснить значительным изменением минерального состава в молочном сырье в процессе фильтрации. Это привело к изменению состава кислых солей в молоке. Как видно из таблиц 3 и 4, остальные показатели физико-химических свойств молока не изменяются в процессе фильтрации. На следующем этапе исследовано изменение органолептических показателей молока в процессе фильтрации. Результаты исследования представлены в таблицах 5 и 6.

На основании проведенных исследований установлено, что в процессе фильтрации молока на экспериментальном стенде с применением цеолита в качестве

Таблица 4. Физико-химические показатели молока в процессе фильтрации с частотой оборотов насоса 400 об/мин

Table 4. Physical and chemical properties of milk during filtration at 400 rpm

Наименование показателя	Норма			
	Молоко до фильтрации	Молоко после фильтрации в фильтрах с содержанием цеолита		
		100 г	150 г	200 г
Кислотность, °Т	19	17	15	
Плотность, г/см ³	1,028	1,028	1,028	
Массовая доля жира, %	5,5	5,5	5,5	
Массовая доля сухих веществ, %	12	12	12	
Массовая доля белка, %	2,89	2,89	2,89	

Таблица 5. Органолептические показатели молока в процессе фильтрации при частоте оборотов насоса 300 об/мин

Table 5. Sensory properties of milk during filtration at 300 rpm

Наименование показателя	Характеристика			
	Молоко до фильтрации	Молоко после фильтрации в фильтрах с содержанием цеолита		
		100 г	150 г	200 г
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев	Однородная жидкость без осадка и хлопьев		
Вкус и запах	Чистые, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку	Чистые, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку		
Цвет	Белый			Белый

Таблица 6. Органолептические показатели молока в процессе фильтрации при частоте оборотов насоса 400 об/мин

Table 6. Sensory properties of milk during filtration at 300 rpm

Наименование показателя	Характеристика			
	Молоко до фильтрации	Молоко после фильтрации в фильтрах с содержанием цеолита		
		100 г	150 г	200 г
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев	Однородная жидкость без осадка и хлопьев		
Вкус и запах	Чистые, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку	Чистые, без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку		
Цвет	Белый			Белый

сорбционно-фильтрующего материала органолептические показатели молочного сырья не изменяются.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее оптимальными параметрами фильтрации молока на экспериментальном фильтрационном стенде с применением в качестве сорбционно-фильтрующего материала цеолита Тарбагатайского района Восточно-Казахстанской области являются создание давления потока жидкости при частоте оборотов насоса 300 об/мин (объемная производительность насоса 10 л/мин или 600 л/час) и при содержании цеолита в фильтрах 200 г (80 % от объема фильтра). При увеличении частоты оборотов насоса до 400 об/мин и содержании цеолита в фильтрах 150–200 г наблюдается наиболее значительное изменение в молоке содержания минеральных веществ, витаминов А и Е,

а также понижение титруемой кислотности до 15 °Т.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Материалы подготовлены в рамках выполнения бюджетной программы 120 «Грантовое финансирование научных исследований» Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме «Исследование степени накопления свойственных для Семейского региона Восточно-Казахстанской области радиоактивных элементов и тяжелых металлов в сырье животного и растительного происхождения и разработка технологического способа понижения их содержания в процессе переработки исследуемого сырья».

Список литературы

1. Шарафиев, Д. Р. Анализ потребительских свойства природных цеолитов в странах СНГ / Д. Р. Шарафиев, А. И. Хацринов // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 12. – С. 95–98.
2. Cationic dye adsorption onto natural and synthetic zeolites in the presence of Cs⁺ and Sr²⁺ ions / N. Ayar, G. Keçeli, A. E. Kurtoglu [et al.] // Toxicological and Environmental Chemistry. – 2015. – Vol. 97, № 1. – P. 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1080/02772248.2014.949264>.
3. Pritylska, N. Research of prospects for using zeolites in the food industry / N. Pritylska, E. Bondarenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 5, № 11. – P. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51067>.
4. Removal of phosphate from aqueous solutions by adsorption onto Ca (OH)₂ treated natural clinoptilolite / D. Mitrogiannis, M. Psychoyou, I. Baziotis [et al.] // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Vol. 320. – P. 510–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.063>.
5. Сорбция ионов железа (III) из вин цеолитами, обработанными кислотой / Р. С. Арутюнян, Л. Р. Арутюнян, И. А. Петросян [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2017. – Т. 7, № 1 (20). – С. 111–118. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-1-111-118>.
6. Земсков, В. И. Свойства фильтрующих перегородок из природного цеолита / В. И. Земсков, Г. М. Харченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 114, № 4. – С. 148–152.
7. Земсков, В. И. Центрифуга для очистки растительных масел на базе сепаратора СЦ-3 / В. И. Земсков, Г. М. Харченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 126, № 4. – С. 114–120.
8. Marynchenko, L. Exploring the possibility of purification of water-alcohol solutions of different concentrations containing aldehydes and esters by mineral adsorbents / L. Marynchenko, V. Marynchenko, M. Hyvel // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, № 11–88. – P. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108750>.
9. Marynchenko, L. Research of mineral adsorbents application for water-alcohol solutions purification in technology of alcoholic beverages / L. Marynchenko, V. Marynchenko, M. Hyvel // EUREKA: Physics and Engineering. – 2017. – № 4. – P. 3–10. DOI: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00397>.
10. Шубина, Н. И. Методы снижения радионуклидов в молоке и молочных продуктах / Н. И. Шубина, Г. Е. Усков // Молодежь и наука. – 2016. – № 1. – С. 7–11.
11. Донская, Г. А. Очистка молока от радионуклидов цезия неорганическим природным сорбентом / Г. А. Донская, В. А. Марьин // Молочная промышленность. – 2014. – № 12. – С. 48–49.
12. Радиопротекторные свойства природных цеолитов / А. К. Какимов, Ж. Х. Какимова, Г. М. Байбалинова [и др.] // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2014. – № 1. – С. 112–113.
13. Removal of Cs⁺, Sr²⁺, and Co²⁺ Ions from the Mixture of Organics and Suspended Solids Aqueous Solutions by Zeolites / X.-H. Fang, F. Fang, C.-H. Lu [et al.] // Nuclear Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 49, № 3. – P. 556–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2016.11.008>.
14. Evaluation of the possible use of a Bulgarian clinoptilolite for removing strontium from water media / N. Lihareva, O. Petrov, Y. Tzvetanova [et al.] // Clay Minerals. – 2015. – Vol. 50, № 1. – P. 55–64. DOI: <https://doi.org/10.1180/claymin.2015.050.1.06>.
15. Role of zeolite's exchangeable cations in phosphate adsorption onto zirconium-modified zeolite / Y. Zhan, Z. Zhang, J. Gao [et al.] // Journal of Molecular Liquids. – 2017. – Vol. 243. – P. 624–637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.08.091>.

16. A study of the ion exchange effect on the sorption properties of heulandite–clinoptilolite zeolite / A. M. Spiridonov, M. D. Sokolova, A. A. Okhlopko [et al.] // *Journal of Structural Chemistry*. – 2015. – Vol. 56, № 2. – P. 297–303. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0022476615020134>.
17. Кинетика сорбции витамина Е на клиноптилолитовом туфе / С. Ю. Васильева, Е. В. Бородина, Д. Л. Котова [и др.] // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2010. – Т. 10, № 3. – С. 348–353.
18. Мамедова, Г. А. Ионообменные свойства природного цеолита морденита / Г. А. Мамедова // *Тонкие химические технологии*. – 2016. – Т. 11, № 1. – С. 29–33.
19. Adsorption of cephalixin from aqueous solution using natural zeolite and zeolite coated with manganese oxide nanoparticles / M. R. Samarghandi, T. J. Al-Musawi, A. Mohseni-Bandpi [et al.] // *Journal of molecular liquids*. – 2015. – Vol. 211. – P. 431–441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.06.067>.
20. Effects of sodium content on physicochemical properties of usy zeolite / L. Zhang, X. H. Gao, Y. H. Zhang [et al.] // *Rengong Jingti Xuebao/Journal of Synthetic Crystals*. – 2014. – Vol. 43, № 2. – P. 454–460.

References

1. Sharafiev DR, Khatsrinov AI. Analiz potrebitel'skikh svoystva prirodnykh tseolitov v stranakh SNG [Analysis of consumer properties of natural zeolites in the CIS countries]. *Bulletin of the Technological University*. 2016;19(12):95–98. (In Russ.).
2. Ayar N, Keçeli G, Kurtoğlu AE, Atun G. Cationic dye adsorption onto natural and synthetic zeolites in the presence of Cs⁺ and Sr²⁺ ions. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 2015;97(1):11–21. DOI: <https://doi.org/10.1080/02772248.2014.949264>.
3. Pritylska N, Bondarenko E. Research of prospects for using zeolites in the food industry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015;5(11):4–9. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51067>.
4. Mitrogiannis D, Psychou M, Baziotis I, Inglezakis VJ, Koukouzas N, Tsoukalas N, et al. Removal of phosphate from aqueous solutions by adsorption onto Ca (OH)₂ treated natural clinoptilolite. *Chemical Engineering Journal*. 2017;320:510–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.063>.
5. Harutyunyan RS, Harutyunyan LR, Petrosyan IA, Badalyan GG, Sargsyan HO, Kuznetsova TF, et al. Sorption of Fe (III) ions from wines by acid treated zeolites. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2017;7(1)(20):111–118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.063>.
6. Zemskov VI, Kharchenko GM. Properties of filter baffle plates made of natural zeolite. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;114(4):148–152. (In Russ.).
7. Zemskov VI, Kharchenko GM. Filtering centrifuge for vegetable oil clarification based on STS-3 separator. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;126(4):114–120. (In Russ.).
8. Marynchenko L, Marynchenko V, Hyvel M. Exploring the possibility of purification of water-alcohol solutions of different concentrations containing aldehydes and esters by mineral adsorbents. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017;4(11–88):10–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108750>.
9. Marynchenko L, Marynchenko V, Hyvel M. Research of mineral adsorbents application for water-alcohol solutions purification in technology of alcoholic beverages. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017;(4):3–10. DOI: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00397>.
10. Shubina NI, Uskov GE. Methods of reduction of radionuclides in milk and dairy products. *Molodezh' i nauka [Youth and Science]*. 2016;(1):7–11. (In Russ.).
11. Donskaya GA, Mariin VA. Purification of milk from radionuclides of cesium with non-organic natural sorbent. *Dairy Industry*. 2014;(12):48–49. (In Russ.).
12. Kakimov AK, Kakimova ZhH, Baibalinova GM, Mirasheva GO, Amanzholov SA, Baitakova AK. Radioprotective properties of natural zeolites. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatova [International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbatov]*. 2014;(1):112–113. (In Russ.).
13. Fang X-H, Fang F, Lu C-H, Zheng L. Removal of Cs⁺, Sr²⁺, and Co²⁺ Ions from the Mixture of Organics and Suspended Solids Aqueous Solutions by Zeolites. *Nuclear Engineering and Technology*. 2017;49(3):556–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.net.2016.11.008>.
14. Lihareva N, Petrov O, Tzvetanova Y, Kadiyski M, Nikashina A. Evaluation of the possible use of a Bulgarian clinoptilolite for removing strontium from water media. *Clay Minerals*. 2015;50(1):55–64. DOI: <https://doi.org/10.1180/claymin.2015.050.1.06>.
15. Zhan Y, Zhang Z, Gao J, Lin J, Zhang Z. Role of zeolite's exchangeable cations in phosphate adsorption onto zirconium-modified zeolite. *Journal of Molecular Liquids*. 2017;243:624–637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.08.091>.
16. Spiridonov AM, Sokolova MD, Okhlopko AA, Koryakina VV, Shits EY, Argunova AG, et al. A study of the ion exchange effect on the sorption properties of heulandite–clinoptilolite zeolite. *Journal of Structural Chemistry*. 2015;56(2):297–303. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0022476615020134>.
17. Vasileva SU, Borodina EV, Kotova DL, Krysanova TA. The kinetics sorption of the vitamin E by clinoptilolite tuff. *Sorption and Chromatographic Processes*. 2010;10(3):348–353. (In Russ.).
18. Mamedova GA. The ion-exchange properties of natural zeolite mordenite. *Fine Chemical Technologies*. 2016;11(1):29–33. (In Russ.).

19. Samarghandi MR, Al-Musawi TJ, Mohseni-Bandpi A. Adsorption of cephalixin from aqueous solution using natural zeolite and zeolite coated with manganese oxide nanoparticles. *Journal of molecular liquids*. 2015;211:431–441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.06.067>.

20. Zhang L, Gao XH, Zhang YH, Su Y, Zhang A-P. Effects of sodium content on physicochemical properties of usy zeolite. *Rengong Jingti Xuebao/Journal of Synthetic Crystals*. 2014;43(2):454–460.

Сведения об авторах

Смирнова Ирина Анатольевна


д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой технологии молока и молочных продуктов, ФГБОУВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-58, e-mail: milk@kemsu.ru

Какимов Айтбек Калиевич

д-р техн. наук, профессор, руководитель центра послевузовского образования, Государственный университет имени Шакарима города Семей, 071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А, тел.: +7 (7222) 35-95-49, e-mail: kancel@semgu.kz

Жарыкбасов Ерлан Сауыкович

Государственный университет имени Шакарима города Семей, 071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А, тел.: +7 (7222) 35-95-49, e-mail: kancel@semgu.kz

 <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>

Information about the authors

Irina A. Smirnova


Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Milk and Milk Products Technology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-58, e-mail: milk@kemsu.ru

Aitbek K. Kakimov

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head Center of the Information and Communicative Technology Faculty, Shakarim State University of Semey, 20A, Glinka Str., Semey, 071412, Kazakhstan, phone: +7 (7222) 35-95-49, e-mail: kancel@semgu.kz

Erlan S. Zharykbasov

Shakarim State University of Semey, 20A, Glinka Str., Semey, 071412, Kazakhstan, phone: +7 (7222) 35-95-49, e-mail: kancel@semgu.kz

 <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>