УДК 541.18.05

Т.Н. Пивненко, А.Е. Бунтуш
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ МАСЛЯНОГО ЭКСТРАКТА КАРОТИНОИДОВ ИЗ ТУНИКИ АСЦИДИИ ПУРПУРНОЙ

Показана значимость использования метода микрокапсулирования каротиноидов из туники асцидии пурпурной для создания функциональных пищевых продуктов. Рассмотрена способность полимерных оболочек микрокапсул, образованных из альгината натрия, хлорида кальция, хитозана и активированного угля, сохранять свою структуру и повышать устойчивость лабильных препаратов к низкой pH среды, температурным условиям. Показана возможность создания и стабилизации эмульсии жировых и водорастворимых компонентов с использованием различных эмульгаторов и ультразвуковой обработки.

Ключевые слова: *каротиноиды, альгинат натрия, хитозан, микрокапсулирование, эмульгирование.*

T.N. Pivnenko, A.E Buntush

EXPERIMENTAL FOUNDETION OF MICROCAPSULATION OF OIL EXTRACT OF CAROTHINOIDS FROM TUNICS OF PURPLE ASCIDIAN

The importance of using the method of microencapsulation of carotenoids from the tunic of ascidia purpurea is shown to create functional food products. The ability of polymeric membranes of microcapsules, formed from sodium alginate, calcium chloride, chitosan and activated carbon, to retain its structure and increase the resistance of labile preparations to a low pH environment, temperature conditions is considered. The possibility of creation and stabilization of an emulsion of fat and water-soluble components with the use of various emulsifiers and ultrasonic treatment is shown.

Key words: *carotenoids, sodium alginate, chitosan, microencapsulation, emulsification.*

Введение

В настоящее время актуальным вопросом нутрициологии является создание функциональных пищевых продуктов (ФПП). Растущий интерес к нутриентной ценности продуктов основан на представлении о том, что регулярное употребление продуктов, содержащих ингредиенты, обладающие научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижают риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращают или восполняют имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, повышают устойчивость организма к ряду распространенных заболеваний [1]. Однако не все функциональные компоненты сочетаются по своим органолептическим качествам с продуктами различного происхождения. Кроме того, лабильные биологически активные вещества могут претерпевать изменения в своей структуре при разных способах приготовления и хранения.

Инкапсулирование функциональных ингредиентов в настоящее время рассматривается как наиболее рациональный способ сохранения их активности и безопасной доставки в организм [1–2]. Микрокапсулирование позволяет включать активные компоненты в поры полимерной матрицы, мембрану или ядро капсулы, где они удерживаются силами физического взаимодействия. Микрокапсулы предотвращают разложение лабильных веществ под воздействием факторов окружающей среды, позволяют контролировать их высвобождение [2–5]. Производители, желающие позиционировать свою продукцию как функциональную,

в первую очередь обращаются к добавлению полиненасыщенных жирных кислот и витаминов (каротиноидов, витамина Е), что стало причиной широкого применения этих добавок в различных пищевых продуктах. Липофильные вещества в своем натуральном виде плохо сочетаются с компонентами продуктов, имеющих водную основу. Это связано и со специфическими органолептическими качествами, и с пониженной стабильностью при термообработке, присутствием кислорода и влиянием условий переваривания в желудочно-кишечном тракте.

Каротиноиды широко распространены в природе, в настоящее время известно более 600 соединений различных каротиноидов. К важнейшим свойствам каротиноидов относятся их А-провитаминная активность, способность защищать органы и ткани от УФ-излучения, антиоксидантный эффект, снижение риска развития некоторых видов рака и сердечно-сосудистых заболеваний, выполнение ряда функций в зрительном аппарате, поддержка репродуктивных процессов, а также возможность окрашивания пищевых продуктов [6] . Каротиноиды относятся к жирорастворимым соединениям, что создает ряд ограничений их применения в пищевой промышленности. Методы микрокапсулирования каротиноидов, в частности бета-каротина, в настоящее время разработаны, и полученные препараты используются в пищевой промышленности [7, 8]. Однако для каждого конкретного вида препаратов, подвергаемых инкапсулированию, необходим подбор условий процесса, исследование свойств, сочетаемость с пищевыми продуктами и сохранение биологической активности в различных условиях.

Ценным природным объектом, содержащим уникальный набор каротиноидов – ксантофиллов (фукоксантина, галоцинтиаксантина, астаксантина и др.), является асцидия пурпурная, обитающая в дальневосточных морях. На основе масляного экстракта из ее внешней оболочки – туники – разработана БАД к пище «Масляный экстракт из туники асцидии пурпурной», рекомендуемый для коррекции заболеваний сердечно-сосудистой системы, усиления иммунитета и антиоксидантной защиты [9]. Недостатками указанной БАД являются термолабильность и неустойчивость в присутствии кислорода, а также специфические органолептические свойства. Для стабилизации ксантофиллов и маскировки вкуса и запаха метод микрокапсулирования может быть весьма полезен.

В представленной работе предложено обоснование экстракционного способа получения микрокапсул, содержащих в качестве функционального компонента масляный экстракт из туники асцидии, содержащий каротиноиды для дальнейшего использования в составе функциональных пищевых продуктов.

Материалы и методы

В работе использовали альгинат натрия, хитозан из панциря краба, БАД к пище «Масляный экстракт из туники асцидии» производства ООО «ФармоушенЛаб», г. Партизанск; активированный уголь, ТВИН-80 (неионогенное ПАВ), разрешенный к применению в пищевой промышленности, соевый лецитин.

Плотность определяли волюмометрическим методом. Определение вязкости проводили на ротационном вискозиметре Fungilab SMART H в единицах динамической вязкости системы SI (Па·с или мПа·с).

Для получения микрокапсул использовали систему, состоящую из силиконового шланга, иглы от шприца диаметром 0,7 или 0, 2 мм, подвешенной на штатив. В зависимости от состава эмульсионной системы капали смесь с высоты 20 см в 0,2 М раствор кальция хлорида либо самотеком, либо с помощью перистальтического насоса.

Для получения эмульсии использовали подсолнечное масло, дистиллированную воду и 4%-й раствор альгината натрия в различных соотношениях. Для стабилизации эмульсии использовали эмульгаторы: ТВИН-80 и соевый лецитин.

Результаты и их обсуждение. Поскольку процесс микрокапсулирования заключается в создании защитной оболочки вокруг жидкого ядра, содержащего БАВ, то важным этапом работы является подбор подходящего материала для оболочки. При микрокапсулировании жирорастворимых компонентов важно разработать методы получения стабильных, не расслаивающихся эмульсий, соединяющих в себе целевой компонент, водорастворимый полимер – основу для оболочки микрокапсулы, эмульгатор для стабилизации эмульсии в течение промежутка времени, достаточного для полного завершения процесса.

При выборе носителя для микрокапсулирования в рамках возможностей пищевого производства учитывают следующие требования: отсутствие токсичности, доступность, невысокая стоимость. В пищевой промышленности чаще всего для микрокапсулирования используют альгинат натрия, пектин, хитозан, желатин и др. [5]. Альгинат натрия – линейный гетерополисахарид из морских водорослей, образует вязкие растворы в концентрации 0,4–5 % в присутствии ионов кальция. Для иммобилизации функциональных ингредиентов широко используют обработку хлоридом кальция, в результате чего образуется поперечно сшитый альгинат кальция, нерастворимый в воде. Альгинатные микрокапсулы легко формируют оболочку, нетоксичны для организма, дешевы, обладают хорошими технологическими характеристиками (температура гелеобразования), легко высвобождают содержимое в кишечнике. Недостатками таких капсул являются неустойчивость в кислой среде, чувствительность к присутствию хелатирующих агентов – цитратов, фосфатов, лактатов, которые, взаимодействуя с ионами кальция, нарушают целостность оболочки микрокапсулы, а также способствуют образованию микропор и микротрещин в оболочке. Этот недостаток может быть устранен путем добавления в состав оболочки других полимеров, таких как хитозан. Известно, что выдерживание микрокапсул из альгината кальция в 0,5%-м растворе хитозана улучшает их стабильность благодаря образованию полиэлектролитного комплекса на поверхности и дальнейшего распространения реакции между макромолекулами полиэлектролитов вглубь слоя оболочки [10]. Хитозан – полисахарид животного происхождения, содержит аминогруппы и способен включаться в состав полимеров путем образования поперечной связи в присутствии анионов и полианионов. Чаще всего хитозан используют как внешнее покрытие оболочки микрокапсул из других полимеров.

Существует два основных способа микрокапсулирования БАВ: экструзия (он же капельный способ) и обращение фаз. Оба способа эффективны, но капельный более простой и доступный. Поэтому для дальнейших исследований нами был выбран именно он.

Была исследована способность к образованию микрокапсул на модельных опытах в водных растворах, далее в масляных эмульсиях в присутствии каротиноидов и без них. В качестве сшивающего реагента выступал хлорид кальция.

Для микрокапсулирования использовали методики, предложенные Кирстеном и Бьюком, описанные в работе Корочинского (2014) [11].

Первоначально исследовали возможность получения «пустых» микрокапсул без функциональных ингредиентов. Для этого 4%-й раствор альгината натрия, растворенный при температуре 50 °С, капали с высоты 20 см в 0,2 М раствор кальция хлорида. Раствор капал самотеком, для его перемещения по шлангам не потребовалось дополнительных усилий в виде насоса. Микрокапсулы оставляли «на созревание» в этом же растворе на 30 мин. Полученные микрокапсулы прозрачно-белого цвета имели правильную сферическую форму, были мягкими на ощупь, легко раздавливались пальцами. Средний диаметр капсул составил 1,1 ± 0,2 мм. После сушки на открытом воздухе капсулы уменьшились в размере (до 0,3 мм), стали коричневатого цвета, приобрели твердость и хрупкость. Их поверхность покрылась микротрещинами.

Так как основным недостатком микрокапсул с оболочкой из альгината кальция является образование микротрещин, то для устранения этого недостатка были испытаны возможности укрепления оболочки при помощи активированного угля и хитозана.

В этом случае сначала получали микрокапсулы с оболочкой из альгината кальция, так как это описано выше. После «созревания» микрокапсулы отделяли от раствора и слегка подсушивали. Для укрепления оболочек микрокапсул хитозаном их выдерживали в течение часа в 0,4%-м растворе хитозана, затем отделяли от раствора и слегка подсушивали. Полученные микрокапсулы прозрачно-белого цвета имели правильную сферическую форму, были мягкими на ощупь, легко раздавливались пальцами. Средний диаметр капсул составил 1,1 ± 0,3 мм. По внешнему виду полученные капсулы практически не отличались от альгинатных, но после высушивания не имели микротрещин.

Для получения микрокапсул с включением активированного угля готовили 4%-ю суспензию угля. Предварительно таблетированный уголь растирали в ступке и просеивали через сито с размерами ячеек 0,25 мм. Полученную суспензию смешивали с равным количеством 4%-го раствора альгината натрия. Далее смесь капали в 0,2 М раствор хлорида кальция. Микрокапсулы оставляли «на созревание», после чего выдерживали в 0,4%-м растворе хитозана в течение часа, затем высушивали. Полученные микрокапсулы черного цвета имели неправильную сферическую форму, были мягкими на ощупь, легко раздавливались пальцами. Средний диаметр капсул составил 2,7 ± 0,3мм.

По органолептическим показателям микрокапсулы соответствовали показателям, указанным в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика микрокапсул, полученных различными способами

Table 1

Characterization of microcapsules obtained by various methods

Материал	Описание микрокапсул	Средняя масса, мг	Диаметр, мм
Альгинат	Сферические частицы, белого цвета, поверхность гладкая	2,5± 0,3	1,0 ± 0,2
Альгинат-хитозан	Сферические частицы, коричневатого цвета, поверхность гладкая	2,7± 0,4	1,1 ± 0,3
Альгинат-уголь-хитозан	Неправильные сферические частицы, черного цвета, поверхность гладкая	5,5± 0,4	2,7 ± 0,3

Так как выбранные нами целевые компоненты (каротиноиды) являются жирорастворимыми веществами и их готовая форма представляет собой масляный экстракт, то для создания исходной для микрокапсулирования системы необходимо было приготовить водно-жировую эмульсию, содержащую жировую фазу, водорастворимый альгинат натрия – основу для оболочки микрокапсулы и эмульгатор для стабилизации (отсутствия расслаивания) эмульсии в течение промежутка времени, достаточного для полного завершения процесса. В первоначальных модельных опытах вместо масляного экстракта из туники асцидии использовали подсолнечное масло такое же, как было использовано для приготовления экстракта. Эмульсия, полученная путем перемешивания до однородности, состояла из 5 г масла, 50 мл дистиллированной воды и равного количества 4%-го раствора альгината натрия, оказалась нестабильной и расслаивалась в течение 15 мин. Поэтому для стабилизации эмульсии использовали эмульгаторы: ТВИН-80 (неионогенное поверхностно-активное вещество) и соевый лецитин.

Для этого растительное масло смешивали на гомогенизаторе с ТВИН-80 в соотношениях 50 : 1, 100 : 1, 200 : 1, смесь добавляли струйкой к раствору 4%-го альгината натрия. Таким же образом растительное масло смешивали с соевым лецитином в соотношениях

50 : 1, 100 : 1, 200 : 1 и добавляли к раствору 4 %-го альгината натрия. Оставляли эмульсии при комнатной температуре на 1 ч, наблюдали за стабильностью.

Все полученные образцы эмульсии не были стабильными и расслаивались в течение 15–20 мин. Среди этих образцов наиболее стабильным был образец с ТВИН-80 в соотношении эмульгатор : масло 50 : 1.

В следующем эксперименте определили влияние температуры на процесс эмульгирования и стабильность эмульсии. Для этого все процедуры проводили при температуре 50 °С, что соответствует пределу температурной стабильности каротиноидов. Для этого к 100 мл 4,5%-го раствора альгината натрия добавляли предварительно смешанные до однородного состояния 15 мл масла и 0,9 г ТВИН-80 и все компоненты гомогенизировали.

Полученная эмульсия сохраняла стабильность более 2 ч. Этого времени достаточно для проведения процесса микрокапсулирования.

При замене растительного масла на масляный экстракт каротиноидов и соблюдении вышеописанных условий полученные результаты опыта полностью совпадали с результатами модельного опыта.

Для оптимизации процесса эмульгирования и улучшения структуры и стабильности эмульсии использовали обработку ультразвуком (УЗ). Для этого раствор альгината натрия смешивали со смесью масляного экстракта асцидии с помощью ультразвуковой установки до однородной массы при температуре 50 °С с помощью ультразвукового гомогенизатора Vibra-Cell при следующих условиях: амплитуда 100 %, что соответствует мощности излучения 130 Вт, 20 кГ. Этот процесс занимал в среднем 3 мин.

Согласно результатам работ по совершенствованию способа эмульгирования, суммированным в табл. 2, эмульсия, образованная с применением УЗ, обладала наилучшей структурой и наименьшей вязкостью, что позволило пропускать ее через иглу меньшего диаметра (0, 2 мм) и получать таким образом капсулы меньшего размера.

Таблица 2

Свойства эмульсионных систем для получения микрокапсул

Table 2

Properties of emulsion systems for the preparation of microcapsules

Состав компонентов системы	Стабильность эмульсии при 20 °С, мин	Стабильность эмульсии при 50 °С, мин	Вязкость при 50°С, Па·с
Альгинат + масло	10±3	18±2	-
Альгинат + масло : ТВИН-80 (200 : 1)	10±3	18±2	-
Альгинат + масло : ТВИН-80 (100 : 1)	10±3	18±2	-
Альгинат + масло : ТВИН-80 (50 : 1)	16±3	47±7	14
Альгинат + масло : ТВИН-80 (50 : 1) Обработка УЗ	16±3	47±7	11
Альгинат + масло : лецитин (200 : 1)	10±3	15±2	-
Альгинат + масло : лецитин (100 : 1)	10±3	15±2	-
Альгинат + масло : лецитин (50 : 1)	10±3	15±2	-

Таким образом, разработана методика микрокапсулирования масляного экстракта каротиноидов для дальнейшего использования в пищевых продуктах. При этом модифицированы состав и метод эмульгирования масляного экстракта. Применение ультразвуковой

обработки позволило снизить концентрацию альгината натрия и тем самым уменьшить густоту эмульсии и облегчить ее прохождение через иглу капсулятора.

В табл. 3 представлены рецептурный состав эмульсии, взятой для приготовления капсул, компонентный состав капсул и их энергетическая ценность. Энергетическую ценность альгината и хитозана приравнивали к таковой пищевых волокон, исходя из известных сведений о том, что 1 г ферментируемых в толстой кишке пищевых волокон в среднем содержит около 1,5 ккал [12].

Таблица 3

Рецептура и состав компонентов микрокапсул с масляным экстрактом из туники асцидии на 100 г конечного продукта

Table 3

Recipe and composition of components of microcapsules with oil extract from tunic of ascidia per 100 g of final product

Компонент	Содержание , г
Компоненты для составления эмульсии	
Альгинат натрия	4
Масляный экстракт асцидии	20
ТВИН-80	0,36
Вода	Остальное
Компонентный состав эмульсии, г	
Белки	0
Жиры	20 г
Пищевые волокна	4 г
Вода	Остальное
Каротиноиды, мг	*25*
Энергетическая ценность, ккал	186

Примечание. Определение содержания кальция и хитозана, вошедших в состав оболочки микрокапсул, не проводили.

Для исследования стабильности оболочки капсул в различных средах выдерживали их в течение 24 ч при следующих условиях: H_2O; 0,1 н. HCl; 1/15 М фосфатный буфер pH 8,5; 45%-й этанол, 0,01 н. и 0,1 н. NaOH. Результаты опыта представлены в табл. 4.

Таблица 4

Исследование стабильности оболочки микрокапсул в различных условиях

Table 4

Study of the stability of the microcapsule membranes under various conditions

Среда	1 ч	3 ч	24 ч	240 ч
Вода	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений
0,1 н. HCl pH 2,5	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений
0,5 М фосфатный буфер pH 7,0	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Полное растворение
0,5 М фосфатный буфер pH 8,5	Без изменений	Размывание оболочки	Полное растворение	Полное растворение
0,01 н. NaOH pH 9,2	Размывание оболочки	Частичное растворение	Полное растворение	Полное растворение
0,1 н. NaOH pH 11,0	Размывание оболочки	Частичное растворение	Полное растворение	Полное растворение
Этанол	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений

Таким образом, показано, что в воде, в кислой среде (соответствующей pH желудочного сока) и в среде органических растворителей капсулы остались стабильными. Дальнейшее хранение в течение 5 месяцев также не выявило изменений оболочки микрокапсул. Микрокапсулы оставались стабильными, деформации оболочки и вытекания содержимого не наблюдали. В щелочной среде происходило растворение оболочки, увеличение концентрации щелочи ускоряло процесс разрушения оболочки микрокапсулы. Полученные результаты косвенно моделируют поведение микрокапсул при прохождении через желудочно-кишечный тракт человека и позволяют говорить о том, что в желудке микрокапсулы не подвергаются разрушению, а в кишечнике постепенно растворяются.

Для того чтобы проверить стабильность микрокапсул при технологических операциях, которым они могут быть подвергнуты при приготовлении функциональных продуктов, исследовали их стабильность при различных температурах. Для этого выдерживали их в воде при 20, 50, 70 и 100 °С в течение 20 мин. В этих условиях не наблюдали разрушения оболочек микрокапсул. Следовательно, их можно применять для приготовления продуктов с использованием термообработки.

Физико-химические свойства микрокапсул, содержащих масляный экстракт из туники асцидии, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Физико-химические свойства микрокапсул, содержащих масляный экстракт из туники асцидии

Table 5

Physical and chemical properties of microcapsules containing oil extract from tunic of ascidia

Диаметр иглы для пропускания эмульсии, мм	Диаметр капсулы, мм	Масса, мг	Насыпная плотность, г/см^3	Содержание каротиноидов, мкг/шт.
0,7 0,2	2,23±0,1 1,43 ±0,1	3,1±0,2 2,5±0,3	0,78 ±0,09 0,72 ±0,10	0,12±0,06 0,9±0,03

Органолептические свойства влажных капсул были следующими: легкая упругость, не затрудняющая разжевывания, с нейтральным вкусом без запаха, цвет светло-желтый. Таким образом, органолептические свойства полученных микрокапсул не имеют порочащих или вызывающих неприятие качеств, что позволяет использовать их для обогащения каротиноидами разнообразных пищевых продуктов.

Результаты проделанной работы позволяет сделать следующие выводы. Выбран оптимальный способ иммобилизации масляного экстракта каротиноидов из туники асцидии – микрокапсулирование – и установлен наиболее подходящий вариант его технологической реализации. Показано, что для создания оболочки микрокапсул целесообразно использовать альгинат натрия с его отверждением в среде хлористого кальция и стабилизацией оболочки в растворе хитозана. Для микрокапсулирования масляного экстракта каротиноидов необходимо получение стабильной эмульсии с использованием в качестве эмульгатора ТВИН-80. Обязательным условием эмульгирования является поддержание температуры 50 °С во время всего процесса и обработка ультразвуком. Микрокапсулы с оболочкой из альгината натрия с масляным экстрактом каротиноидов из туники асцидии, модифицированные хитозаном, соответствуют требованиям, предъявляемым к кишечнорастворимым формам: устойчивость в кислой среде (соответствующей pH желудочного сока) и в среде органических растворителей и распадаемость в щелочной среде. При выдержке микрокапсул в воде при 20, 50, 70 и 100 °С в течение 20 мин не наблюдалось разрушения оболочек

микрокапсул, следовательно, их можно применять для приготовления продуктов с использованием термообработки.

Список литературы

1. Типсина, Н.Н. Новые изделия функционального назначения / Н.Н. Типсина, Н.В. Присухина // Вестн. Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4. – С. 62–66.

2. Литвишко, В.С. Микрокапсулированные ингредиенты для функциональных продуктов питания / В.С. Литвишко // Инновации: теоретические и практические аспекты: сб. ст. междунар. заочной науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2012. – С. 12–16.

3. Кролевец, А.А. Применение нано- и микрокапсулирования в фармацевтике и пищевой промышленности. Ч. 2. Характеристика инкапсулирования / А.А. Кролевец, Ю.А. Тырсин, Е.Е. Быковская // Вестн. Российской академии естественных наук. – 2013. – №1. – С. 77–84.

4. Степанова, Э.Ф. Микрокапсулы: Перспективы использования в современной фармацевтической практике / Э.Ф. Степанова, М.Е. Ким, К.Б. Мурзагулова, С.Б. Евсеева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=14927 (дата обращения: 18.07.2017).

5. Anil K.A., Singh H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery // Singh Trends in Food Science & Technology. – 2007. – № 18. – P. 240–251.

6. Konishi I, Hosokawa M, Sashima T, Kobayashi H, Miyashita K. Halocynthiaxanthin and fucoxanthinol isolated from *Halocynthia roretzi* induce apoptosis in human leukemia, breast and colon cancer cells // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. – 2006. – Vol. 142 (1–2). – P. 53–59.

7. Способ получения микрокапсул рыбных жиров: пат. 2557526 / Исаев В.А., Бенцианов Л.М., Симоненко С.В., Селиверстов В.К., Жуков А.Г. Опубл. 20.07.2015.

8. Пищевой продукт, содержащий микрокапсулу для доставки полезного вещества/ (CA): пат. 200800269 / Маттсон П.Х., Горски Р.А., Фонг Б.И., Трингейл Л.М., Мэтью Д., Ди П.С. (US), Спурви Ш.Э., Робер Р., Бойден М. Опубл. 29.10.2010.

9. Пивненко, Т.Н. Исследование биологической активности каротиноидов из асцидии *Halocynthia aurantium* / Т.Н. Пивненко, Е.С. Моторя, А.К. Гажа, А.Л. Шутикова // Тихоокеанский медицинский журн. – 2009. – № 3. – С. 28–32.

10. Martinsen A., Skjak-Braek C., Smidsrod M. Alginate as immobilization material: 1. correlation between chemical and physical properties of alginate gel beads // Biotechnol Bioeng. – 1989. – Vol. 33. – P. 79–89.

11. Корочинский, А.В. Технологическая разработка иммобилизованных лекарственных форм с биоспорином и их исследования: автореф. дис. ... канд. фарм. наук : 14.04.01 / А.В. Корочинский. – Пятигорск, 2014. – 23 с.

12. Дружинин, П.В. Физико-химические свойства пищевых волокон / П.В. Дружинин, Л.Ф. Новиков, Ю.А. Лысиков. – Режим доступа: http://on-line-wellness.com/view_post.php?id=97. Дата обращения 22.05.2017.

Сведения об авторах: Пивненко Татьяна Николаевна, доктор биологических наук, профессор, e-mail:tnpivnenko@mail.ru;

Бунтуш Александра Евгеньевна, студентка гр. ТХм-212,

e-mail: aleksandrabuntush@inbox.ru