

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИЦИНА

Е.С. Власкина¹, Ю.Н. Соотц¹, А.А. Липина¹, З.А. Яминзода², О.И. Одинцова¹

¹Кафедра химической технологии волокнистых материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: ekaterina.shuya@mail.ru*, julia_novozhilova@mail.ru, prohorova.a94@yandex.ru, odolga@yandex.ru

²Совместный факультет Полоцкого государственного университета (ПГУ) и Технологического университета Таджикистана (ТУТ) ул. Н. Карабаева 63/3, Душанбе, Таджикистан, 734055

E-mail: zyaminova@inbox.ru

Рассмотрены возможные области применения серицина в различных областях промышленности, таких как текстильная, пищевая, биомедицинская, фармацевтическая. Предложено использование серицина в качестве основы для производства гидрогелей, пленок, перевязочных материалов, для тканевой инженерии, заживления ран и доставки лекарств, а также в косметической промышленности. Отмечены его достоинства для использования в качестве биоматериала. Приведен обзор возможности применения серицина в лечении раковых заболеваний. Серицин способен замедлить рост опухолевых клеток и вызывает их гибель, сохраняя нормальную жизнедеятельность здоровых клеток. Отражены такие свойства серицина, как антикоагулянтные, антиоксидантные, антибактериальные. Также выявлены фотозащитные свойства серицина, которые проявляются путем поглощения ультрафиолетового излучения и предотвращения окислительных повреждений ткани с поддержкой окислительно-восстановительного баланса в организме. Предложены технологии комбинации серицина с другими материалами с целью придания антимикробных свойств нановолокнам для использования в перевязочных материалах. Рассмотрены методы экстракции серицина Б. Мори, приведены экстрагирующие вещества, необходимые для извлечения его из шелка-сырца. Показана возможность извлечения серицина с использованием определенных кислот (лимонная, янтарная, и другие). Из приведенных в обзоре множества методов, выделены четыре основных способа извлечения серицина из коконов: автоклавирование при высокой температуре или высоком давлении, экстракция в кислой среде, преимущественно в лимоннокислом растворе, выделение в щелочной среде в растворе карбоната натрия; а также в растворе мочевины. Предложено использовать серицин в качестве оболочкоформирующего вещества при капсуляции биологически активных и лекарственных препаратов.

Обзор отражает все достоинства серицина для последующего его использования в текстильной промышленности.

Ключевые слова: текстильные материалы, медицина, микрокапсулирование, серицин, эфирные масла, микрокапсулы, ароматерапевтическая отделка

METHODS OF OBTAINING AND AREAS OF APPLICATION OF SERICIN

E.S. Vlaskina¹, Yu.N. Soots¹, A.A. Lipina¹, Z.A. Yaminzoda², O.I. Odintsova¹

¹Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemical Technology, Sheremetevskyave., 7, Ivanovo, Russia, 153000

E-mail: ekaterina.shuya@mail.ru*, julia_novozhilova@mail.ru, prohorova.a94@yandex.ru, odolga@yandex.ru

²Joint faculty of Polotsk State University (PSU) and the Technological University of Tajikistan (TUT) st. N. Karabaeva 63/3, Dushanbe, Tajikistan, 734055

E-mail: zyaminova@inbox.ru

The possibilities of using sericin in various industries, such as textile, food, biomedical, and pharmaceutical were considered. The use of sericin as a basis for the production of hydrogels, films, dressings, for fabric engineering, wound healing and drug delivery, as well as in the cosmetic industry was proposed. Its advantages for use as a biomaterial were noted. An overview of the possibility of using sericin in the treatment of cancer was given. Sericin was able to slow down the growth of tumor cells and causes their death, while maintaining the normal functioning of healthy cells. Sericin's properties such as anticoagulant, antioxidant, and antibacterial were reflected. The photoprotective properties of sericin, which are manifested by absorbing ultraviolet radiation and preventing oxidative damage to tissue with the support of redox balance in the body have also been revealed. Technologies for combining sericin with other materials are proposed in order to give nanofibers antimicrobial properties for use in dressings was proposed. An overview of B. Mori's sericin extraction methods was presented, and the extractors necessary to extract it from raw silk were given. The possibility of extracting sericin using certain acids (citric, succinic and other) was shown. Of the many methods described in the review, four main methods of extracting sericin from cocoons were identified: autoclaving at high temperature or high pressure, extraction in an acidic medium, mainly in citric acid solution, isolation in an alkaline medium: in a solution of sodium carbonate; and also in a solution of urea. It is proposed to use sericin as a shell of the forming substance during the encapsulation of biologically active and medicinal products. The review reflects all the advantages of sericin for its subsequent use in the textile industry.

Keywords: textile materials, medicine, microcapsulation, sericin, essential oils, microcapsules, aromatherapy finishing

Для цитирования:

Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. Способы получения и области применения серицина. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. № 4. С. 110–122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.

For citation:

Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. Methods of obtaining and areas of application of sericin. *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 4. P. 110–122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день текстильные материалы занимают важное место в медицине в связи с их уникальными свойствами: гигроскопичностью, мягкостью, драпируемостью и за счет этого хорошей прилегаемости к поверхности тела, воздухопроницаемостью, безопасностью для организма больного (нетоксичность, неаллергенность) и т.д. Их используют не только в качестве перевязочных средств, но и в качестве лечебного материала, пропитанного лекарственными препаратами и биологически активными веществами с пролонгированным лечебным действием, которого можно добиться, применяя микрокапсулированные лечебные препараты.

Активно развиваются технологии, направленные на получение текстильных материалов с новыми уникальными свойствами. Особый интерес представляют ткани, обладающие стойкими ароматами и антибактериальными свойствами, которые являются безопасными и благоприятно воздействуют на живые организмы. Такие текстиль-

ные материалы позволят обеспечить ароматерапевтический эффект, выделяя приятный аромат в течение длительного времени, подчеркивая индивидуальность потребителя, а также защитят его от опасных инфекций.

В медицине, в качестве биологически активных веществ, наиболее часто используют серицин, альгинат натрия, ксантановую камедь и т.д. При этом в области создания медицинских текстильных материалов особый интерес представляет белок шелка серицин, обладающий антимикробными, ранозаживляющими, противовоспалительными и УФ-защитными свойствами. Серицин можно использовать в различных сферах деятельности: в пищевой, текстильной промышленности, в качестве добавки в косметические средства. Он безопасен и имеет несложную технологию получения из коконов тутового шелкопряда [1].

СВОЙСТВА СЕРИЦИНА ШЕЛКА

Шелк состоит на 70-80% из кристаллического и нерастворимого в воде волокнистого белка, называемого фиброином и на 20-30% из аморфной

матрицы – водорастворимого глобулярного белка, называемого серицином. Серицин действует как клей, удерживая фиброиновые нити вместе, при этом не является нитевидным в отличие от фибрина [1, 2]. Серицин придает волокну скрипучесть, скрывает блеск и бледность шелка, используется в различных областях, таких как косметика, продукты питания, медицина, мембраны, биоматериалы и т. д.

Серицин содержит 18 аминокислот, наиболее важными из которых являются серин (32%), аспарагиновая кислота (18%) и глицин (16%). Этот белок также содержит 45,8% гидроксикаминокислот (серин и треонин), 42,3% полярных аминокислот и 12,2% неполярных аминокислот [2,3]. Состав серицина: С–44,32-46,29%; Н–5,72-6,42%; N– 16,44-18,33%; О–30,35-32,5%; S– 0,15%. Химическая формула серицина $C_{16}H_{25}N_5O_8$.

Серицин извлекается из шелка-сырца в процессе его рафинирования, то есть очистки от примесей. Для этой процедуры применяются различные по природе вещества: кислота, щелочь и ферменты [4]. Под воздействием этих веществ серицин переходит из волокон шелка в раствор, из которого его извлекают путем экстракции. В качестве экстрагирующих веществ могут использоваться органические растворители, такие как этиловый спирт, изопропиловый спирт и другие. Применяемые методы экстракции позволяют получить серицин с различной молекулярной массой, размером частиц и содержанием аминокислот [5, 6]. Выделение серицина зависит от таких параметров, как температура, время и pH раствора [7]. Растворимость значительно увеличивается в концентрированных щелочных или кислых растворах [8].

Некоторые способы экстракции серицина представлены в табл. 1.

Таблица 1

Различные методы экстракции серицина Б. Мори, молекулярная масса и его происхождение [6]

Методы	Молекулярная масса	Источник
1	2	3
Горячая вода 80 °C и 120 °C	20–400 кДа	Кокон
Водный раствор 0,5% Na_2CO_3 при 80 °C и 120 °C	<100кДа	Кокон
Насыщенный раствор LiSCN	20–400 кДа	Кокон
Автоклав при 120 °C в течение 30 мин	12–66 кДа	Кокон
Дистиллированная вода и раствор бромелайна, нагретые до 55 °C в течение 60 мин	10–250 кДа	Кокон
1,25% раствор лимонной кислоты, нагреваемый в течение 30 мин, 0,2% Na_2CO_3 и раствор мочевины 8М	20–220 кДа	Кокон
Автоклав в течение 30 мин с последующим ферментативным гидролизом протеазой.	–	Кокон
1% раствор NaCl	–	Кокон
Жидкость в передней и средней шелковой железе. Автоклав при 120 °C в течение 40 мин	20–400 кДа	Шелковая железа

Для полного удаления серицина предпочтительно использовать эффективный процесс дегуммирования с использованием мыла и щелочи [9-12]. Данный метод, несмотря на свою эффективность, обычно не используется в связи с длительностью и сложностью технологического процесса.

Серицин также может быть извлечен с использованием определенных кислот, таких как лимонная, винная или янтарная кислота и т.д. При использовании кислых условий температуру следует поддерживать на уровне кипения [13, 14]. Кислоты и щелочи оказывают разрушающее действие на белки, соответственно серицин, имеющий белковую природу, может быть поврежден при экстракции. Его экстракция раствором мочевины с 2-меркаптоэтанолом позволяет выделить 95% серицина

без изменения структуры [15, 16]. Однако этот процесс является слишком ресурсозатратным и занимает много времени, поскольку перед применением требуется очистка серицина, которая проводится с помощью процедуры диализа.

В век биотехнологий также существуют ферментативные схемы экстракции серицина [17, 18]. Но огромные затраты и чувствительность фермента к условиям применения ограничивают использование этого метода [19].

Из-за вышеуказанных ограничений экстракция горячей водой является наиболее широко используемым и экологически безопасным методом извлечения серицина. Этот метод включает нагревание шелка в кипящей дистиллированной воде без использования любых дополнительных

химических соединений. Время и температура экстракции играют ключевую роль в количестве экстрагируемого серицина. Этот метод также вызывает некоторую деградацию молекул серицина, но при этом он сохраняет свои важные свойства. Поэтому многие исследователи, учитывая простоту процедуры, предпочитают использовать экстракцию горячей водой [18].

После экстракции серицин преобразуют в порошкообразную форму. В различных исследованиях описаны такие методы выделения серицина из раствора, как мембранная фильтрация [18-20], осаждение этанолом [21, 22], сублимационная сушка [23] и распылительная сушка [24], чтобы выделить серицин из дегуммирующего раствора.

Таким образом, можно выделить четыре основных метода извлечения серицина из коконов: автоклавирование при высокой температуре или высоком давлении, который является наиболее доступным способом; выделение в кислой среде, преимущественно в лимоннокислом растворе; выделение в щелочной среде: раствором карбоната натрия; и экстракция серицина путем добавления мочевины [25, 26]. Все эти методы могут быть видоизменены в зависимости от температуры, времени, используемой химической добавки, концентрации раствора и других факторов. Особым преимуществом отличается метод извлечения серицина горячей водой.

СВОЙСТВА СЕРИЦИНА, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Серицин признан потенциальным биоматериалом благодаря его биосовместимости, иммуносовместимости, биоразлагаемости, противовоспалительным, антибактериальным, антиоксидантным, фотозащитным, механическим свойствам, поглощению и легкому выделению влаги [27]. Кроме того, на основе серицина можно производить гидрогели, пленки, губки, пены, перевязочные материалы, частицы, волокна и т. д. для различных биомедицинских и фармацевтических применений, например, для тканевой инженерии, заживления ран, доставки лекарств, косметики [28]. Ниже рассмотрены основные ценные свойства серицина (рис. 1).

Одним из важных свойств серицина является его потенциальный антиопухолевый эффект, который является важным аспектом в лечении рака. Применение химиотерапии, которая широко используется в лечении раковых заболеваний, сопровождается высокой цитотоксичностью. Это значит, что химиотерапевтические препараты оказывают

разрушительное воздействие не только на опухолевые клетки, но и на здоровые ткани, что сильно ограничивает их эффективность и применение в клинической практике [29]. Одной из основных проблем является устойчивость опухолевых клеток к химиотерапевтическим препаратам. Именно это обстоятельство заставляет искать новые агенты, обладающие противоопухолевым действием, при этом обладающие более низкой токсичностью и биосовместимостью. Один из таких перспективных агентов – серицин [30].



Рис. 1. Биохимические и биологические свойства серицина [27]

Благодаря своей уникальной структуре серицин обладает высоким потенциалом для использования в медицине. Он способен замедлять рост опухолевых клеток и вызывать их гибель, сохраняя нормальную жизнедеятельность здоровых клеток. При этом серицин обладает меньшей токсичностью по сравнению с химиотерапевтическими препаратами, что делает его более безопасным для пациентов.

Антикоагулянтные свойства являются важным аспектом многих лекарственных препаратов. Они позволяют предотвратить свертывание крови и снизить риск тромбоза. Функциональные желудочно-кишечные расстройства – это распространенные клинические состояния, характеризующиеся наличием симптомов, таких как боли, дискомфорт и нарушение стула, при отсутствии органических, структурных или метаболических нарушений [31]. Эти расстройства могут значительно повлиять на качество жизни и требуют правильного лечения. Одним из важных компонентов такого лечения может быть серицин – вещество, обладающее рядом полезных свойств. В частности, серицин хорошо влияет на работу толстой кишки. Его гидрофильные свойства способствуют улучшению процесса переваривания и выведения пищевых масс из организма.

Биосовместимость и иммунологический ответ играют важную роль в области биомедицины. При разработке и использовании биомедицинских материалов наиболее существенным требованием является обеспечение их биосовместимости. Это означает, что при контакте с человеческим организмом данные материалы должны быть безопасными и не вызывать нежелательных реакций. Ключевым аспектом биосовместимости является иммунологический ответ, который может возникать при взаимодействии биоматериала с тканями и органами человека. Иммунный ответ является защитной реакцией организма на внешние агенты, которые могут быть восприняты им как опасные или чужеродные. В случае неблагоприятной реакции иммунной системы на биоматериал, могут возникать различные проблемы, такие как воспаление, аллергические реакции или отторжение материала [32, 33, 34].

Важное значение воспалительного процесса в заживлении ран не может быть недооценено. В этой фазе, которая является неотъемлемой частью процесса регенерации тканей, происходит очистка раны от некротических тканей и возможных загрязнений с помощью фагоцитоза [35]. Воспалительные клетки также выделяют цитокины и факторы роста, способствующие рекрутингу клеток, ответственных за образование новой ткани.

Однако необходимо уметь контролировать эту фазу, поскольку неконтролируемая и слишком сильная экспрессия воспалительных цитокинов может привести к экспрессии металлопротеиназ, которые отвечают за разрушение внеклеточного матрикса – необходимого строительного блока для нормального заживления раны.

Именно поэтому разработка биоматериалов, используемых в лечении ран, должна быть направлена на контроль воспалительного процесса. Эти материалы должны обладать противовоспалительной активностью, способной регулировать экспрессию воспалительных цитокинов, чтобы предотвратить возможное разрушение ткани и способствовать нормальному заживлению. Серицин может быть использован в качестве такого биоматериала для лечения ран [36, 37].

В последние годы контроль за распространением инфекционных заболеваний становится все более сложной задачей для систем здравоохранения [38]. В частности, проблема возникновения инфекций во время заживления ран считается одной из самых серьезных. Микроорганизмы, присутствующие в месте раны, мешают нормальному за-

живлению и могут вызывать различные осложнения. Поэтому использование биоматериалов с антибактериальными свойствами является очень перспективным для создания биомедицинских продуктов [39].

Одним из биоматериалов, обладающих антибактериальными свойствами, является серицин. Его антимикробная активность обусловлена присутствием цистина и незаряженной полярной аспаргиновой кислоты, содержащих сульфгидрильные группы [40]. Эти группы способны образовывать слабые водородные связи с кислородом или азотом, что позволяет серицину оказывать влияние на различные ферментативные реакции и метаболические функции микроорганизмов [41].

Было показано, что серицин обладает антимикробным действием как против грамположительных, так и против грамотрицательных бактерий. Он также оказывает воздействие на различные виды грибов, включая *Candida albicans* и *Aspergillus flavus* [42].

Серицин обладает высокой *антиоксидантной активностью*, которая проявляется в его способности устранять активные радикалы кислорода и блокировать окисление липидов. Также он обладает анти-тирозиновой и анти-эластазой активностью [43]. Кроме того, серицин способен усиливать активность антиоксидантных ферментов, включая супероксиддисмутазу, каталазу и глутатионпероксидазу [44].

Антиоксидантная активность серицина связана с содержанием в нем серина и треонина, которые обладают хелатирующим эффектом к различным микроэлементам, таким как медь и железо [45, 46]. Кроме того, наличие пигментов, таких как флавоноиды и каротиноиды, в слоях серицина может также способствовать его антиоксидантным свойствам и антитирозиновой активности.

Серицин обладает фотозащитными свойствами, поскольку он эффективно поглощает ультрафиолетовое излучение (УФ) и предотвращает окислительные повреждения тканей, поддерживая окислительно-восстановительный баланс в организме [47]. В серицине содержатся различные аминокислоты, богатые водородом, кислородом и азотом, которые способствуют сильному поглощению ультрафиолетового излучения в диапазоне 200 нм [48].

Таким образом, серицин обладает широким спектром различных свойств, что позволяет применять его для функционализации текстильных материалов медицинского назначения. Ниже рассмотрены основные области применения серицина.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИЦИНА

Из-за его биологических свойств, а также с учетом экологических проблем, вызванных серицином в качестве сбрасываемых отходов текстильной промышленности, этот белок был изучен для различных применений во многих отраслях промышленности [49, 50], данные о которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

Применение шелкового серицина в различных отраслях промышленности [49]

Промышленность	Применение
текстильная	-повышение антибактериальной активности; - повышенное влагопоглощение ткани; - защита от ультрафиолетовых лучей текстильных материалов; - для шлихтования основ
пищевая	- улучшение вкуса пищи - добавка как питательное вещество - и т.д.
биомедицинская и фармацевтическая	- тканевая инженерия; - ранозаживление; - доставка лекарств; - противоопухолевая активность; - транспортное средство для усиления клеток; - стабилизатор в вакцинах;
другие	- изделия из искусственной кожи; - дороги и крыши; - художественные пигменты;

Серицин возможно использовать в различных отраслях промышленности, но особое применение он может найти для создания ранозаживляющих текстильных материалов, благодаря своему широкому спектру биомедицинских свойств и материалов, обладающих стойкими ароматами и поглощающих УФ-излучение. Инновационной разработкой стали футболки с микрокапсулами, состоящими из биологически активных веществ, которые могут поглощать ультрафиолетовое излучение, при этом они обладают ранозаживляющими и антибактериальными свойствами. Это особенно актуально в жаркую летнюю погоду, когда легкая одежда не всегда обеспечивает достаточную за-

щиту от солнечных лучей или в период инфекций, когда хочется чувствовать себя безопаснее от воздействия бактерий [1]. Помимо текстильной промышленности особый интерес вызывает его применение в биомедицине и фармацевтике.

В последнее время повышенное внимание также уделяется полимерам, наночастицам, липидным носителям, мицеллам [51], природным белкам [52] и другим фармацевтическим носителям. Системы доставки лекарств на основе серицина шелка привлекают внимание среди различных встречающихся в природе молекул как носители, способные высвобождать свое активное содержимое в определенном месте и с определенной скоростью в организме [52, 53-55]. Серицин используется в лекарственных препаратах, с различными целями, включая улучшение растворимости, модификацию диффузии и стабилизацию состава в фармацевтической промышленности, также является антиоксидантом и антикоагулянтом. Эти характеристики также побудили к созданию нескольких исследований для включения их в область медицины [56, 57]. Антиоксидантная активность серицина может принести большую пользу для здоровья. Потребление продуктов, содержащих серицин, облегчает запоры, подавляет рост рака кишечника и увеличивает усвоение минералов, таких как цинк, железо, магний и кальций [52, 58, 59]. Изделия имеют одинаковые поры, хорошую прочность на сжатие и высокую гибкость. Более того, они указывают на высокую пористость, улучшенную работу клеток и жизнеспособность. В целом, серицин представляет собой биологическое вещество, которое можно использовать в перевязочных материалах [60-62], контактных линзах, кровеносных сосудах, искусственной коже и протезах [63]. В сульфированном виде серицин оказывает антитромботическое действие. Он также обладает антимикробными [64,65], коллагенообразующими, гидрофильными и биосовместимыми свойствами. Для заживления ран Verma et al. [64] получен гидрогель на основе карбопола. Таким образом, можно сказать, что серицин обладает ранозаживляющими свойствами и может использоваться в качестве материала для покрытия ран в виде пленки или крема, содержащего порошок серицина [52].

Серицин можно использовать для модификации поверхности волокон и тканей. Он применяется в качестве основы покрытий для целлюлозных волокон и шерсти. Обработанные ткани показывают снижение содержания свободного формальдегида, устойчивость к электричеству, к раздраже-

нию кожи, к аллергическим реакциям, повышенное удержание воды, и повышенную антибактериальную способность при незначительном снижении прочности ткани. Кроме того, серицин используется для повышения гидрофильности полиэстера и улучшения его УФ-защиты. Также было показано, что полиэфир, обработанный серицином, обладает повышенными антистатическими свойствами [66, 67].

Серицин можно комбинировать с другими материалами с целью придания антимикробных свойств нановолокнам для использования в перевязочных материалах [68,69]. В целом, ткани, сотканые из волокон, покрытых серицином, были исследованы в таких продуктах, как медицинский текстиль в перевязках ран и заживлении абразивных повреждений кожи [70].

Серицин - это материал, который можно применять для доставки лекарств, каркасов и пленок путем образования на его основе специальных микрооболочек вокруг препарата. Такой подход реализуется при помощи методов микрокапсулирования нашедших свое применение, в том числе и в текстильной химии. Модификаторы для отделки текстильных материалов наносятся на волокнистую основу в капсулированном виде и за счет их пролонгированного выделения материал носителя приобретает различные функциональные свойства.

Использование метода микрокапсулирования в текстильной промышленности продолжает расти, особенно в Западной Европе, Японии и Северной Америке. Переход более развитых стран к производству текстиля с новыми свойствами, например, к медицинскому и техническому текстилю, побудил промышленность использовать процессы микрокапсулирования в качестве средства придания отделки и свойств текстилю, которые были невозможны или экономически неэффективны с использованием другой техники [70]. Производители текстиля проявляют растущий интерес к нанесению стойких ароматизаторов на ткань, а также к средствам для смягчения кожи. Другие потенциальные применения включают репелленты от насекомых, красители, витамины, противомикробные препараты, материалы с фазовым переходом, а также в конкретных медицинских целях антибиотики, гормоны и другие лекарства [71]. Микрокапсулирование является экономичным методом хранения летучих веществ в течение длительного времени. Способы получения микрокапсул различны (рис. 2). [71-78].

Доступны микрокапсулы с широким ассортиментом продукции. Эти продукты имеют различные свойства, связанные с природой инкапсулированных веществ.



Рис. 2. Технологии микрокапсулирования [80]

Микрокапсулы представляют собой мелкие частицы размером от одного до нескольких сотен микрометров, состоящие из жидкого, твердого или газообразного ядра и оболочки, защищающей материал ядра от внешних условий [79]. Целью микрокапсулирования, помимо защиты основных веществ, является также разделение реагентов, контролируемое высвобождение, снижение токсичности, снижение летучести и т. д. [80].

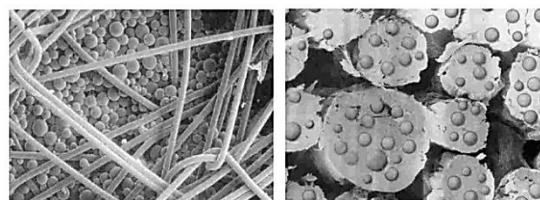


Рис. 3. а) микрокапсулы, нанесенные на поверхность ткани микрокапсулы; б) микрокапсулы, внедренные в волокно [70]

Полимер, используемый для покрытия, может быть натуральным или синтетическим, и это зависит от покрытия микрокапсулы, проникаемое оно или нет. В зависимости от цели использования подбираются подходящие микрокапсулы.

Выбор инкапсулирующего агента должен учитывать несколько факторов, таких как обработка, физико-химические свойства вещества, подлежащего инкапсуляции и инкапсулирующего агента, а также совместимость между ними. Эти аспекты, в свою очередь, будут влиять на эффективность инкапсуляции, проникаемость, скорость высвобождения, стабильность и размер микрокапсулы.

Непроницаемые покрытия могут быть разрушены:

- внешней силой;
- высокой температурой;
- светом;
- растворителем или водой.

Другими словами, они могут разбиться, расплавиться или сгореть, разложиться, засохнуть или раствориться. В медицине используются непропицаемые капсулы, содержащие лекарство. Они растворяются при соответствующем значении pH с высвобождением действующего вещества [81, 82].

В качестве оболочки наибольший интерес представляют природные биополимеры, такие как хитозан, альгинат натрия, ксантановая камедь и другие [82-84]. В сочетании с серицином такие природные биополимеры будут служить основой для создания биоразлагаемых экологически безопасных текстильно-вспомогательных веществ, содержащих микрокапсулы для придания текстильным материалам комплекса ценных свойств: ранозаживляющих, УФ-поглощающих, ароматерапевтических.

ВЫВОДЫ

Представленный обзор отражает возможность применения серицина шелка для модифика-

ции текстильных материалов медицинского назначения благодаря его различным биомедицинским свойствам. Рассмотрены наиболее важные его свойства, такие как противоопухолевые, ранозаживляющие, УФ-поглощающие, антиоксидатные, антимикробные, биосовместимость. Предложен наиболее эффективный способ экстракции серицина и метод нанесения его на текстильный материал.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-008 и с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The work was carried out within the framework of the State Assignment for Research, topic No. FZZW-2023-008 and using the resources of the Center for the Collective Use of Scientific Equipment of ISUCT.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murugesh B. K. Silk: processing, properties and applications. The Textile Institute Book Series. Woodhead Publishing.: 2nd edition. 2018. 272 p.
2. Jin-Bo F., Li-Ping W., Li-Shuiet C. Antioxidant activities of silk sericin from silkworm bombyx mori. Journal of food biochemistry. 2009. P. 74-88. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2008.00204.x.
3. Nagura M., Ohnishi R., Gitohe Y. Structures and physical properties of cross-linked sericin membranes. Journal of Insect Biotechnology and Sericology. 2001. V 70. P. 149-153. DOI: 10.11416/jibs2001.70.149.
4. Wang F., Ting C., Qing Z. Effect of silk protein surfactant on silk degumming and its properties. Materials Science and Engineering. 2015. P. 131-136. DOI: 10.1016/j.msec.2015.05.041.
5. Aramwit P., Kanokpanont S., Nakpheng T. The effect of sericin from various extraction methods on cell viability and collagen production. International Journal of Molecular Sciences. 2010. N 5. P. 2200-2211. DOI:10.3390/ijms11052200.
6. Kunz R., Brancalhão R., Ribeiro L. Silkworm sericin: properties and biomedical applications. BioMed research international. 2016. V. 2. P. 1-19. DOI: 10.1155/2016/8175701.
7. Fatahian R., Noori M., Khajavi R. Extraction of sericin from degumming process of silk fibres and its application on nonwoven. International Journal of Advanced Chemistry. 2017. N 1. P. 25-28. DOI:10.14419/ijac.v5i1.7416.
8. Dash R., Mandal M., Ghosh S.K. Silk sericin protein of tropical tasar silkworm inhibits UVB-induced apoptosis in human skin keratinocytes. Mol Cell Biochem. 2008. V. 311. P. 111-119. DOI: 10.1007/s11010-008-9702-z.

REFERENCES

1. Murugesh B. K. Silk: processing, properties and applications. The Textile Institute Book Series. Woodhead Publishing.: 2nd edition. 2018. 272 p.
2. Jin-Bo F., Li-Ping W., Li-Shuiet C. Antioxidant activities of silk sericin from silkworm bombyx mori. Journal of food biochemistry. 2009. P. 74-88. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2008.00204.x.
3. Nagura M., Ohnishi R., Gitohe Y. Structures and physical properties of cross-linked sericin membranes. Journal of Insect Biotechnology and Sericology. 2001. V 70. P. 149-153. DOI: 10.11416/jibs2001.70.149.
4. Wang F., Ting C., Qing Z. Effect of silk protein surfactant on silk degumming and its properties. Materials Science and Engineering. 2015. P. 131-136. DOI: 10.1016/j.msec.2015.05.041.
5. Aramwit P., Kanokpanont S., Nakpheng T. The effect of sericin from various extraction methods on cell viability and collagen production. International Journal of Molecular Sciences. 2010. N 5. P. 2200-2211. DOI:10.3390/ijms11052200.
6. Kunz R., Brancalhão R., Ribeiro L. Silkworm sericin: properties and biomedical applications. BioMed research international. 2016. V. 2. P. 1-19. DOI: 10.1155/2016/8175701.
7. Fatahian R., Noori M., Khajavi R. Extraction of sericin from degumming process of silk fibres and its application on nonwoven. International Journal of Advanced Chemistry. 2017. N 1. P. 25-28. DOI:10.14419/ijac.v5i1.7416.
8. Dash R., Mandal M., Ghosh S.K. Silk sericin protein of tropical tasar silkworm inhibits UVB-induced apoptosis in human skin keratinocytes. Mol Cell Biochem. 2008. V. 311. P. 111-119. DOI: 10.1007/s11010-008-9702-z.
9. Kundu S.C., Dash B.C., Dash R. Natural protective glue protein, sericin bioengineered by silkworms: Potential for biomedical and biotechnological applications. Prog Polym Sci. 2008. V. 33. P. 998-1012. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2008.08.002.

9. Kundu S.C., Dash B.C., Dash R. Natural protective glue protein, sericin bioengineered by silkworms: Potential for biomedical and biotechnological applications. *Prog. Polym. Sci.* 2008. V. 33. P. 998-1012. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2008.08.002.
10. Yamada H., Nakao H., Takasuet Y. Preparation of undegraded native molecular fibroin solution from silkworm. *Mater. Sci. Eng.* 2001. V. 14. P. 41-47. DOI: 10.1016/S0928-4931(01)00207-7.
11. Yu-Qing, Yan M., Yun-Yue X. Silk sericin insulin bioconjugates: synthesis, characterization and biological activity. *Journal Controlled Release.* 2006. V. 115. P. 307-315. DOI: 10.1016/J.JCONREL.2006.08.019.
12. Khan M.R., Tsukada M., Gotoh Y. Physical properties and dyeability of silk fibers degummed with citric acid. *Bioresour Technol.* 2010. V. 101. P. 8439-8445. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.100.
13. Takasu Y., Yamada H., Tsubouchiet K. Extraction and Chromatographic Analysis of Cocoon Sericin of the Silkworm, *Bombyxmori*. *Journal Insect Biotechnol. Sericol.* 2002. V. 71. P. 151-156. DOI: 10.11416/jibs2001.71.151.
14. Arami M., Rahimi S., Mivehie L., Mazaheri F., Mohammad Mahmoodi N. Degumming of Persian silk with mixed proteolytic enzymes. *J. Appl. Polym. Sci.* 2007. V. 106. P. 267-275. DOI: 10.1002/app.26492.
15. Freddi G., Mossotti R., Innocenti R. Degumming of silk fabric with several proteases. *J. Biotechnol.* 2003. V. 106. P. 101-112. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2003.09.006.
16. Kato N., Sato S., Yamanaka A., Yamada H., Fuwa N., Nomura M. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase activity. *BiosciBiotechnolBiochem.* 1998. V. 62. P. 145-147. DOI: 10.1271/bbb.62.145.
17. Sothornvit R., Chollakup R., Suwanruji P. Extracted sericin from silk waste for film formation. *Journal Sci Technol.* 2010. V. 32. P. 17-22.
18. Capar G., Aygun S.S., Gecit M.R. Treatment of silk production wastewaters by membrane processes for sericin recovery. *Journal Membr Sci.* 2008. V. 325. P. 920-931. DOI: 10.1016/j.memsci.2008.09.020.
19. Kurioka A., Kurioka F., Yamazaki M. Characterization of sericin powder prepared from citric acid-degraded sericin polypeptides of the silkworm, *Bombyx Mori*. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2004. V. 68. P. 774-780. DOI: 10.1271/bbb.68.774.
20. Oh H., Lee J.Y., Kim M.K., Um I.C., Lee K.H. Refining hot-water extracted silk sericin by ethanol-induced precipitation. *Int. Journal Bio Macromolecules.* 2011. V. 48. P. 32-37. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2010.09.008.
21. Vaithanomsat P., Kitpreechavanich V. Sericin separation from silk degumming wastewater. *Sep Purif Technol.* 2008. V. 59. P. 129-133. DOI:10.1016/j.seppur.2007.05.039.
22. Genc G., Bayraktar O., BaSal G. A research on the production of silk sericin powders by using spray drying method. *Tekstil ve Konfeksiyon.* 2009. V. 19. P. 273-279.
23. Jo Y.N., Um I.C. Effects of solvent on the solution properties, structural characteristics and properties of silk sericin. *Department of Bio-Fibers and Materials Science.* 2015. V. 78. P. 287-295. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.04.004.
24. Zhang J., Feng S. Temperature effects of electrical resistivity of conductive silicone rubber filled with carbon blacks. *J. Appl Polym Sci.* 2003. V. 90. P. 3889-3895. DOI:10.1002/app.13127.
25. Padamvar M.N., Pawar A.P. Protein sericin and its review. *Journal of Scientific and Industrial Research.* 2004. N 63. V. 4. P. 323-329.
26. Lallepak L., Mario G., Guang Y., Qun W. Silk sericin: A versatile material for tissue engineering and drug deliver. *Bio-technology Advance.* 2015. V. 33. P. 1855-1867. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.10.014.
27. Mondal M., Trivedy K., Nirmal K. S. The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, *Bombyxmori* Linn. *Caspian Journal of Environmental Sciences.* 2007. N. 5. P. 63-76.
10. Yamada H., Nakao H., Takasuet Y. Preparation of undegraded native molecular fibroin solution from silkworm. *Mater Sci Eng.* 2001. V. 14. P. 41-47. DOI: 10.1016/S0928-4931(01)00207-7.
11. Yu-Qing, Yan M., Yun-Yue X. Silk sericin insulin bioconjugates Synthesis, characterization and biological activity. *Journal Controlled Release.* 2006. V. 115. P. 307-315. DOI: 10.1016/J.JCONREL.2006.08.019.
12. Khan M.R., Tsukada M., Gotoh Y. Physical properties and dye ability of silk fibers degummed with citric acid. *Bioresour Technol.* 2010. V. 101. P. 8439-8445. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.100.
13. Takasu Y., Yamada H., Tsubouchiet K. Extraction and Chromatographic Analysis of Cocoon Sericin of the Silkworm, *Bombyxmori*. *Journal Insect Biotechnol. Sericol.* 2002. V. 71. P. 151-156. DOI: 10.11416/jibs2001.71.151.
14. Arami M., Rahimi S., Mivehie L., Mazaheri F., Mohammad Mahmoodi N. Degumming of Persian silk with mixed proteolytic enzymes. *J. Appl Polym Sci.* 2007. V. 106. P. 267-275. DOI: 10.1002/app.26492.
15. Freddi G., Mossotti R., Innocenti R. Degumming of silk fabric with several proteases. *J. Biotechnol.* 2003. V. 106. P. 101-112. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2003.09.006.
16. Kato N., Sato S., Yamanaka A., Yamada H., Fuwa N., Nomura M. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase activity. *BiosciBiotechnolBiochem.* 1998. V. 62. P. 145-147. DOI: 10.1271/bbb.62.145.
17. Sothornvit R., Chollakup R., Suwanruji P. Extracted sericin from silk waste for film formation. *Journal Sci Technol.* 2010. V. 32. P. 17-22.
18. Capar G., Aygun S.S., Gecit M.R. Treatment of silk production wastewaters by membrane processes for sericin recovery. *Journal Membr Sci.* 2008. V.325. P. 920-931. DOI: 10.1016/j.memsci.2008.09.020.
19. Kurioka A., Kurioka F., Yamazaki M. Characterization of sericin powder prepared from citric acid-degraded sericin polypeptides of the silkworm, *Bombyx Mori*. *BiosciBiotechnolBiochem.* 2004. V. 68. P. 774-780. DOI: 10.1271/bbb.68.774.
20. Oh H., Lee J.Y., Kim M.K., Um I.C., Lee K.H. Refining hot-water extracted silk sericin by ethanol-induced precipitation. *Int. Journal Bio Macromolecules.* 2011. V. 48. P. 32-37. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2010.09.008.
21. Vaithanomsat P., Kitpreechavanich V. Sericin separation from silk degumming wastewater. *Sep Purif Technol.* 2008. V. 59. P. 129-133. DOI:10.1016/j.seppur.2007.05.039.
22. Genc G., Bayraktar O., BaSal G. A research on the production of silk sericin powders by using spray drying method. *Tekstil ve Konfeksiyon.* 2009. V. 19. P. 273-279.
23. Jo Y.N., Um I.C. Effects of solvent on the solution properties, structural characteristics and properties of silk sericin. *Department of Bio-Fibers and Materials Science.* 2015. V. 78. P. 287-295. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.04.004.
24. Zhang J., Feng S. Temperature effects of electrical resistivity of conductive silicone rubber filled with carbon blacks. *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 90. P. 3889-3895. DOI: 10.1002/app.13127.
25. Padamvar M.N., Pawar A.P. Protein sericin and its review. *Journal of Scientific and Industrial Research.* 2004. N 63. V. 4. P. 323-329.
26. Lallepak L., Mario G., Guang Y., Qun W. Silk sericin: A versatile material for tissue engineering and drug deliver. *Bio-technology Advance.* 2015. V. 33. P. 1855-1867. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.10.014.
27. Mondal M., Trivedy K., Nirmal K. S. The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, *Bombyxmori* Linn. *Caspian Journal of Environmental Sciences.* 2007. N. 5. P. 63-76.

27. Mondal M., Trivedy K., Nirmal K. S. The silk proteins, sericin and fibroin in silkworm, *Bombyxmori* Linn. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2007. N 5. P. 63-76.
28. Liu J., Shi L., Deng Y., Zou M., Cai B., Song Y., Wang Z., Wang L. Silk sericin-based materials for biomedical applications. *Biomaterials*. 2022. V. 287. P. 121638. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2022.121638.
29. Cheok C. F. Protecting normal cells from the cytotoxicity of chemotherapy. *Cell Cycle*. 2012. V. 11. P. 2227-2228. DOI: 10.4161/cc.20961.
30. Huang Y., Anderle P., Bussey K., Barbacioru C., Shankavaram U., Dai Z., Reinhold W.C., Papp A., Weinstein J.N., Sadée W. Membrane transporters and channels: role of the transportome in cancer chemo sensitivity and chemo resistance. *Cancer Research*. 2004. V. 64. P. 4294-4301. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-03-3884.
31. Drossman D. The functional gastrointestinal disorders and the Rome III process. *Gastroenterology*. 2006. V. 130. N 5. P. 1377-1390. DOI: 10.1053/j.gastro.2006.03.008.
32. Kakopardo L., Innocenti B., Galbusera F. Biomaterials and biocompatibility. In *Orthopedic Human Biomechanics*. Academic Press: Cambridge, Massachusetts, USA. 2022. 500 p.
33. Terada S., Nishimura T., Sasaki M., Yamada H., Miki M. Sericin, a protein derived from silkworms, accelerates the proliferation of several mammalian cell lines, including hybridoma. *Cytotechnologies*. 2002. V. 40. P. 3-12. DOI: 10.1023/A:1023993400608.
34. Terada S., Sasaki M., Yanagihara K., Yamada H. Preparation of silk protein sericin as a mitogenic factor for improving mammalian cell culture. *Biosci. Bioeng.* 2005. V. 100. P. 667-671. DOI: 10.1263/jbb.100.667.
35. Koh T., DiPietro L. Inflammation and wound healing: the role of the macrophage. *Expert Review Mol. Diagnosis*. 2011. V. 13. P. 23. DOI: 10.1017/S1462399411001943.
36. Anderson J., Rodriguez A., Chang D. Reaction of a foreign body to biomaterials. *Immunol.* 2008. V. 29. P. 86-100. DOI: 10.1016/j.smim.2007.11.004.
37. Kunz R., Brancalhão R., Ribeiro L., Marçal N. Silkworm Sericin: Properties and Biomedical Applications. *Biomed Res.* 2016. N 14. ID: 8175701. DOI: 10.1155/2016/8175701.
38. Zhao H., Courtney J., Qian H. Antibacterial bioactive materials. *B Bioactive materials in medicine*. Woodhead Publishing: Cambridge, UK. 2011. P. 97-123.
39. Bowler P., Duerden B., Armstrong D. Round of microbiology and related approaches to wound management. *Clin. microbiol. Rev.* 2001. V. 14. P. 244-269. DOI: 10.1128/CMR.14.2.244-269.2001.
40. AndreiaPatricia, S. A. de M. Atividade Antimicrobiana em Têxteis; Faculty of Pharmacy. University of Porto: Porto, Portugal. 2015. V. 31. N 1. P. 57-66.
41. Caldeira E. S. de A. Biofuncionalização do algodão com L-cisteína: estudo do efeito antibacteriano e dos mecanismos de ação contra *S. aureus* e *K. pneumonia*. Mestrado. 2012. V. 24. e2020050.
42. Akhamad S.I., KumarVootla S. Extraction and evaluation of the antimicrobial potential of anteraeamilitta silk sericin. *Int. Journal Recent Sci. Res.* 2018. V. 9. P. 23019-23022. DOI: 10.24327/ijrsr.2018.0901.1382.
43. Kato N., Sato S., Yamanaka A., Yamada H., Fuwa N., Nomura M. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase activity. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 1998. V. 62. P. 145-147. DOI: 10.1271/bbb.62.145.
44. Li Y.G., Gee D.F., Lin T.B. Protective effect of sericin peptide against alcoholic gastric injury in mice. *Chin. Med. Journal.* 2008. V. 121. P. 2083-2087.
45. Liu J., Shi L., Deng Y., Zou M., Cai B., Song Y., Wang Z., Wang L. Silk sericin-based materials for biomedical applications. *Biomaterials*. 2022. V. 287. P. 121638. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2022.121638.
46. Cheok C. F. Protecting normal cells from the cytotoxicity of chemotherapy. *Cell Cycle*. 2012. V. 11. P. 2227-2228. DOI: 10.4161/cc.20961.
47. Huang Y., Anderle P., Bussey K., Barbacioru C., Shankavaram U., Dai Z., Reinhold W.C., Papp A., Weinstein J.N., Sadée W. Membrane transporters and channels: role of the transportome in cancer chemo sensitivity and chemo resistance. *Cancer Research*. 2004. V. 64. P. 4294-4301. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-03-3884.
48. Drossman D. The functional gastrointestinal disorders and the Rome III process. *Gastroenterology*. 2006. V. 130. N 5. P. 1377-1390. DOI: 10.1053/j.gastro.2006.03.008.
49. Kakopardo L., Innocenti B., Galbusera F. Biomaterials and biocompatibility. In *Orthopedic Human Biomechanics*. Academic Press: Cambridge, Massachusetts, USA. 2022. 500 p.
50. Terada S., Nishimura T., Sasaki M., Yamada H., Miki M. Sericin, a protein derived from silkworms, accelerates the proliferation of several mammalian cell lines, including hybridoma. *Cytotechnologies*. 2002. V. 40. P. 3-12. DOI: 10.1023/A:1023993400608.
51. Terada S., Sasaki M., Yanagihara K., Yamada H. Preparation of silk protein sericin as a mitogenic factor for improving mammalian cell culture. *Biosci. Bioeng.* 2005. V. 100. P. 667-671. DOI: 10.1263/jbb.100.667.
52. Koh T., DiPietro L. Inflammation and wound healing: the role of the macrophage. *Expert Review Mol. Diagnosis*. 2011. V. 13. P. 23. DOI: 10.1017/S1462399411001943.
53. Anderson J., Rodriguez A., Chang D. Reaction of a foreign body to biomaterials. *Immunol.* 2008. V. 29. P. 86-100. DOI: 10.1016/j.smim.2007.11.004.
54. Kunz R., Brancalhão R., Ribeiro L., Marçal N. Silkworm Sericin: Properties and Biomedical Applications. *Biomed Res.* 2016. N 14. ID: 8175701. DOI: 10.1155/2016/8175701.
55. Zhao H., Courtney J., Qian H. Antibacterial bioactive materials. *B Bioactive materials in medicine*. Woodhead Publishing: Cambridge, UK. 2011. P. 97-123.
56. Bowler P., Duerden B., Armstrong D. Round of microbiology and related approaches to wound management. *Clin. microbiol. Rev.* 2001. V. 14. P. 244-269. DOI: 10.1128/CMR.14.2.244-269.2001.
57. AndreiaPatricia, S. A. de M. Atividade Antimicrobiana em Têxteis; Faculty of Pharmacy. University of Porto: Porto, Portugal. 2015. V. 31. N 1. P. 57-66.
58. Caldeira E. S. de A. Biofuncionalização do algodão com L-cisteína: estudo do efeito antibacteriano e dos mecanismos de ação contra *S. aureus* e *K. pneumonia*. Mestrado. 2012. V. 24. e2020050.
59. Akhamad S.I., KumarVootla S. Extraction and evaluation of the antimicrobial potential of anteraeamilitta silk sericin. *Int. Journal Recent Sci. Res.* 2018. V. 9. P. 23019-23022. DOI: 10.24327/ijrsr.2018.0901.1382.
60. Kato N., Sato S., Yamanaka A., Yamada H., Fuwa N., Nomura M. Silk protein, sericin, inhibits lipid peroxidation and tyrosinase activity. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 1998. V. 62. P. 145-147. DOI: 10.1271/bbb.62.145.
61. Li Y.G., Gee D.F., Lin T.B. Protective effect of sericin peptide against alcoholic gastric injury in mice. *Chin. Med. Journal.* 2008. V. 121. P. 2083-2087.
62. Fathian R., Fathian A., Fathian E., Fathian H. A critical review of the application of silk sericin and its mechanical properties in various industries. *Res. Appl. Fur. Eng.* 2021. V. 9. P. 1-11. DOI: 10.14456/jrame.2021.19.

45. Fathian R., Fathian A., Fathian E., Fathian H. A critical review of the application of silk sericin and its mechanical properties in various industries. *Res. Appl. Fur. Eng.* 2021. V. 9. P. 1-11. DOI: 10.14456/jrame.2021.19.
46. Lamboni L., Gauthier M., Yang G., Wang Q. Silk sericin: a versatile material for tissue engineering and drug delivery. *Biotechnol. Adv.* 2015. V. 33. P. 1855-1867. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.10.014.
47. Zhaorigetu S., Yanaka N., Sasaki M., Watanabe H., Kato N. Inhibitory effect of silk protein, sericin, on UVB-induced acute injury and tumor stimulation by reducing oxidative stress in hairless mouse skin. *Photochem. Photobiol. B.* 2003. V. 71. P. 11-17. DOI: 10.1016/S1011-1344(03)00092-7.
48. Gore P.M., Naebe M., Wang H., Kandasubramanian B. Progress in silk materials for integrated water treatment plants: fabrication, modification and application. *Chem. Eng.* 2019. V. 374. P. 437-470. DOI:10.1016/j.cej.2019.05.163.
49. Fathian R., Fathian A., Fathian E. A critical review of the application of silk sericin and its mechanical properties in various industries. *Journal Res. Appl. Fur. Eng.* 2021. V. 9. P. 1-11. DOI:10.14456/jrame.2021.19.
50. Fathian R., Hosseini E., Fathian A., Fathian E. A review of potential applications of sericin and its biological, mechanical, and thermal stability characteristics. *Eng. sci. Technol. Int. Journal.* 2022. V. 9. P. 1-9. DOI: 10.15282/ijets.9.1.2022.1001.
51. Ahmadi F., Oveisi Z., Mohammadi Samani S., Amoozgar Z. Chitosan based hydrogels: characteristics and pharmaceutical applications. *Res Pharm Sci.* 2015. V. 10. N 1. P. 1-16.
52. Padamwar M.N., Pawar A.P. Silk sericin and its applications: a review. *Journal of Scientific and Industrial Research.* 2004. V. 63. N 4. P. 323-329.
53. Salunkhe N.H., Jadhav N.R., More H.N., Jadhav A.D. Screening of drug-sericin solid dispersions for improved solubility and dissolution. *International journal of biological macromolecules.* 2018. V. 107. P. 1683-1691. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.10.035.
54. Salunkhe N., Jadhav N., More H., Choudhari P. Sericin inhibits devitrification of amorphous drugs. *AAPS Pharm Sci Tech.* 2019. V. 20. P. 1-12. DOI: 10.1208/s12249-019-1475-z.
55. Wang Y.J., Zhag Y.Q. Three-layered sericins around the silk fibroin fiber from Bombyxmoricocoon and their amino acid composition. *Advanced Materials Research.* 2011. V. 175. P. 158-163.
56. Shitole M., Dugam S., Tade R., Nangare S. Pharmaceutical applications of silk sericin. *Annales Pharmaceutiques Françaises.* 2020. V. 78 P. 469-486. DOI: 10.1016/j.pharma.2020.06.005.
57. Aramwit P., Siritientong T., Kanokpanontet S., Srichana T. Formulation and characterization of silk sericin-PVA scaffold crosslinked with genipin. *International journal of biological macromolecules.* 2010. V. 47. P. 668-675. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2010.08.015.
58. Sasaki M., Kato N., Watanabe H., Yamada H. Silk protein, sericin, suppresses colon carcinogenesis induced by 1, 2-dimethylhydrazine in mice. *Oncology reports.* 2000. V. 7. P. 1049-1101. DOI: 10.3892/or.7.5.1049.
59. Sasaki M., Yamada H., Kato N. Consumption of silk protein, sericin elevates intestinal absorption of zinc, iron, magnesium and calcium in rats. *Nutrition Research.* 2000. V. 20. N 10. P. 1505-1511. DOI:10.1016/S0271-5317(00)80031-7.
60. Fatahian R., Mirjalili M., Khajavi R., Rahimi M.K. A novel hemostat and antibacterial nanofibrous scaffold based on poly (vinyl alcohol)/poly (lactic acid). *Journal of Bioactive and Compatible Polymers.* 2020. V. 35. N 3. P. 189-202. DOI:10.1177/0883911520913900.
46. Lamboni L., Gauthier M., Yang G., Wang Q. Silk sericin: a versatile material for tissue engineering and drug delivery. *Biotechnol. Adv.* 2015. V. 33. P. 1855-1867. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.10.014.
47. Zhaorigetu S., Yanaka N., Sasaki M., Watanabe H., Kato N. Inhibitory effect of silk protein, sericin, on UVB-induced acute injury and tumor stimulation by reducing oxidative stress in hairless mouse skin. *Photochem. Photobiol. B.* 2003. V. 71. P. 11-17. DOI: 10.1016/S1011-1344(03)00092-7.
48. Gore P.M., Naebe M., Wang H., Kandasubramanian B. Progress in silk materials for integrated water treatment plants: fabrication, modification and application. *Chem. Eng.* 2019. V. 374. P. 437-470. DOI:10.1016/j.cej.2019.05.163.
49. Fathian R., Fathian A., Fathian E. A critical review of the application of silk sericin and its mechanical properties in various industries. *Journal Res. Appl. Fur. Eng.* 2021. V. 9. P. 1-11. DOI:10.14456/jrame.2021.19.
50. Fathian R., Hosseini E., Fathian A., Fathian E. A review of potential applications of sericin and its biological, mechanical, and thermal stability characteristics. *Eng. sci. Technol. Int. Journal.* 2022. V. 9. P. 1-9. DOI: 10.15282/ijets.9.1.2022.1001.
51. Ahmadi F., Oveisi Z., Mohammadi Samani S., Amoozgar Z. Chitosan based hydrogels: characteristics and pharmaceutical applications. *Res Pharm Sci.* 2015. V. 10. N 1. P. 1-16.
52. Padamwar M.N., Pawar A.P. Silk sericin and its applications: areview. *Journal of Scientific and Industrial Research.* 2004. V. 63. N 4. P. 323-329.
53. Salunkhe N.H., Jadhav N.R., More H.N., Jadhav A.D. Screening of drug-sericin solid dispersions for improved solubility and dissolution. *International journal of biological macromolecules.* 2018. V. 107. P. 1683-1691. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.10.035.
54. Salunkhe N., Jadhav N., More H., Choudhari P. Sericin inhibits devitrification of amorphous drugs. *AAPS Pharm Sci Tech.* 2019. V. 20. P. 1-12. DOI: 10.1208/s12249-019-1475-z.
55. Wang Y.J., Zhag Y.Q. Three-layered sericins around the silk fibroin fiber from Bombyxmoricocoon and their amino acid composition. *Advanced Materials Research.* 2011. V. 175. P. 158-163.
56. Shitole M., Dugam S., Tade R., Nangare S. Pharmaceutical applications of silk sericin. *Annales Pharmaceutiques Françaises.* 2020. V. 78 P. 469-486. DOI: 10.1016/j.pharma.2020.06.005.
57. Aramwit P., Siritientong T., Kanokpanontet S., Srichana T. Formulation and characterization of silk sericin-PVA scaffold crosslinked with genipin. *International journal of biological macromolecules.* 2010. V. 47. P. 668-675. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2010.08.015.
58. Sasaki M., Kato N., Watanabe H., Yamada H. Silk protein, sericin, suppresses colon carcinogenesis induced by 1, 2-dimethylhydrazine in mice. *Oncology reports.* 2000. V. 7. P. 1049-1101. DOI: 10.3892/or.7.5.1049.
59. Sasaki M., Yamada H., Kato N. Consumption of silk protein, sericin elevates intestinal absorption of zinc, iron, magnesium and calcium in rats. *Nutrition Research.* 2000. V. 20. N 10. P. 1505-1511. DOI:10.1016/S0271-5317(00)80031-7.
60. Fatahian R., Mirjalili M., Khajavi R., Rahimi M.K. A novel hemostat and antibacterial nanofibrous scaffold based on poly (vinyl alcohol)/poly (lactic acid). *Journal of Bioactive and Compatible Polymers.* 2020. V. 35. N 3. P. 189-202. DOI:10.1177/0883911520913900.

61. Fatahian R., Mirjalili M., Khajavi R., Rahimi M.K. Fabrication of antibacterial and hemostatic electrospun PVA nanofibers for wound healing. *SN Applied Sciences*. 2020. V. 2. P. 1-7. DOI: 10.1007/s42452-020-3084-6.
62. Fatahian R., Mirjalili M., Khajavi R., Rahimi M.K. Recent studies on nanofibers based wound-dressing materials. Paper presented in the 7th International Conference on Engineering & Applied Sciences. 2018. P. 1-12.
63. Zhang Y.Q. Applications of natural silk protein sericin in biomaterials. *Biotechnology Advances*. 2002. V. 20. P. 91-100. DOI: 10.1016/s0734-9750(02)00003-4.
64. Verma J., Kanoujia J., Parashar P., Tripathi C.B., Saraf S.A. Wound healing applications of sericin / chitosan-capped silver nanoparticles incorporated hydrogel. *Drug delivery and translational research*. 2017. V. 7. P. 77-88. DOI: 10.1007/s13346-016-0322-y.
65. Rajalakshmi M., Koushik C.V. Application of sericin in Textile Industry. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*. 2020. V. 12. N 6. P. 1031-1034.
66. Khalifa I.B., Ladhari N., Touay M. Application of sericin to modify textile supports. *Journal of the Textile Institute*. 2012. V. 103. P. 370-377. DOI:10.1080/00405000.2011.580539.
67. Zhao R., Li X., Sun B., Zhang Y., Zhang D., Tang Z., Chen X., Wang C. Electrospun chitosan / sericin composite nanofibers with antibacterial property as potential wound dressings. *International journal of biological macromolecules*. 2014. V. 68. P. 92-97. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.04.029.
68. Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Смирнова С.В., Липина А.А., Петрова Л.С., Ерзунов К.А., Константинова З.А., Зимуров А.Р., Быков Ф.А., Мельников А.Г. Отделка текстильных материалов микрокапсулами и наночастицами функциональных веществ. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
69. Фам Т.Л., Нгуен Т.Н., Буй В.К., Нгуен А.С., Дао Т.Х., Нгуен Т.Т., Ле Т.М.Х., Нгуен М.Н., Ву П.Л., Тран Д.Л. Синтез и исследование наночастиц Ag-TiO₂ для применения в самоочищающихся тканях. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 67. Вып. 1. С. 128-135. DOI: 10.6060/ivkkt.20246701.6962.
70. Nelson G. Application of microencapsulation in textiles. *Int. Journal Pharm.* 2002. V. 242. P. 55-62. DOI: 10.1016/s0378-5173(02)00141-2.
71. Мурашова Н.М., Нгуен Х.Т., Шарапова Е.К. Получение микроэмульсий и жидких кристаллов в системах с лецитином и растительными маслами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 96-103. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6768.
72. Бурин Д.А., Рожкова Ю.А., Казанцев А.Л. Основы метода синтеза микрогелей методом обратной эмульсии. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 3. С. 6-17. DOI: 10.6060/ivkkt.20236603.6732.
73. Гречищева Н.Ю., Королев А.М., Заворотный В.Л., Стародубцева К.А., Али М.С. Стабилизация эмульсий «масло-в-воде» высокодисперсными минеральными частицами: биодegradация и токсическое воздействие на гидробионты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 2. С. 23-35. DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6729.
74. Нагдалян А.А., Блинов А.В., Голык А.Б., Блинова А.А., Гвозденко А.А., Маглакелидзе Д.Г. Влияние ионной силы и активной кислотности среды на стабильность наноэмульсий витамина Е. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 12. С. 24-29. DOI: 10.6060/ivkkt.20226512.6677.
61. Fatahian R., Mirjalili M., Khajavi R., Rahimi M.K. Fabrication of antibacterial and hemostatic electrospun PVA nanofibers for wound healing. *SN Applied Sciences*. 2020. V. 2. P. 1-7. DOI: 10.1007/s42452-020-3084-6.
62. Fatahian R., Mirjalili M., Khajavi R., Rahimi M.K. Recent studies on nanofibers based wound-dressing materials. Paper presented in the 7th International Conference on Engineering & Applied Sciences. 2018. P. 1-12.
63. Zhang Y.Q. Applications of natural silk protein sericin in biomaterials. *Biotechnology Advances*. 2002. V. 20. P. 91-100. DOI: 10.1016/s0734-9750(02)00003-4.
64. Verma J., Kanoujia J., Parashar P., Tripathi C.B., Saraf S.A. Wound healing applications of sericin / chitosan-capped silver nanoparticles incorporated hydrogel. *Drug delivery and translational research*. 2017. V. 7. P. 77-88. DOI: 10.1007/s13346-016-0322-y.
65. Rajalakshmi M., Koushik C.V. Application of sericin in Textile Industry. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*. 2020. V. 12. N 6. P. 1031-1034.
66. Khalifa I.B., Ladhari N., Touay M. Application of sericin to modify textile supports. *Journal of the Textile Institute*. 2012. V. 103. P. 370-377. DOI:10.1080/00405000.2011.580539.
67. Zhao R., Li X., Sun B., Zhang Y., Zhang D., Tang Z., Chen X., Wang C. Electrospun chitosan / sericin composite nanofibers with antibacterial property as potential wound dressings. *International journal of biological macromolecules*. 2014. V. 68. P. 92-97. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.04.029.
68. Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Kozlova O.V., Smirnova S.V., Lipina A.A., Petrova L.S., Erzunov K.A., Konstantinova Z.A., Zimurov A.R., Bykov F.A., Melnikov A.G. Finishing textile materials with microcapsules and nanoparticles of functional substances. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 173-184 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
69. Pham T.L., Nguyen T.N., Bui V.K., Nguyen A.S., Dao T.H., Nguyen T.T., Le T.M.H., Nguyen M.N., Wu P.L., Tran D.L. Synthesis and study of Ag-TiO₂ nanoparticles for use in self-cleaning fabrics. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 67. N 1. P. 128-135 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246701.6962.
70. Nelson G. Application of microencapsulation in textiles. *Int. Journal Pharm.* 2002. V. 242. P. 55-62. DOI: 10.1016/s0378-5173(02)00141-2.
71. Murashova N.M., Nguyen H.T., Sharapova E.K. Preparation of microemulsions and liquid crystals in systems with lecithin and vegetable oils. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 96-103 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6768.
72. Burin D.A., Rozhkova Yu.A., Kazantsev A.L. Fundamentals of the method of synthesis of microgels using the inverse emulsion method. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 3. P. 6-17 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236603.6732.
73. Grechishcheva N.Yu., Korolev A.M., Zavorotny V.L., Starodubtseva K.A., Ali M.S. Stabilization of oil-in-water emulsion with highly dispersed mineral particles: biodegradation and toxic effects on aquatic organisms. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 2. P. 23-35 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6729.
74. Nagdalyan A.A., Blinov A.V., Golik A.B., Blinova A.A., Gvozdenko A.A., Maglakelidze D.G. The influence of ionic strength and active acidity of the medium on the stability of vitamin E nanoemulsions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 12. P. 24-29 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226512.6677.

75. Полякова А.С., Мурашова Н.М. Диаметр капель обратных микроэмульсий ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия: экспериментальные данные и методы расчета. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 2. С. 66-72. DOI: 10.6060/ivkkt.20216402.6287.
76. Гутнова Т.С., Компанцев Д.В., Гвозденко А.А., Крамаренко В.Н., Блинов А.В. Нанокапсулирование витамина D. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 5. С. 98-105. DOI: 10.6060/ivkkt.20216405.6399.
77. Тухтаев К.Р., Хамидов О.З., Султанова Р.К., Чинибекова Н.К. Экстракт из цветков ромашки на масле горького миндаля и получение стабильных эмульсий на его основе. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 7. С. 61-67. DOI: 10.6060/ivkkt.20216407.6306.
78. Ерзунов К.А., Одинова О.И., Трегубов А.В., Ильичева М.Д., Липина А.А. Получение наноразмерных цинк-содержащих полифункциональных покрытий на текстильных материалах. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
79. Ocepek B., Forte-Tavčer P. Microencapsulation in textiles. *Tekstilec*. 2016. V. 59. N 4. P. 278-288.
80. Jyothi Sri S., Seethadevi A., Suria Prabha K., Muthuprasanna P., Pavitra P. Microencapsulation: A Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2012. V. 3. P. 509-531.
81. Липина А.А., Петрова Л.С., Одинова О.И., Козлова О.В., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В., Ильичева М.Д. Микрокапсулирование активных фрагментов биополимеров, содержащих дипептиды Тир-Про-гидрохлорид. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 97-104. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.
82. Лебедева О.А., Седелкин В.М., Потехина Л.Н. Технология получения и характеристики хитозановых нанофильтрационных мембран. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 1. С. 58-65. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6340.
83. Долгопятова Н.В., Новиков В.Ю., Кучина Ю.А., Коновалова И.Н. Влияние условий деацетилирования на физико-химические свойства хитозана из панциря ракообразных. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 77-86. DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6563.
84. Годзишевская А.А., Лопашникова Е.П., Курасова М.Н., Критченков А.С., Андреева О.И. Механические, антибактериальные и антипролиферативные свойства иридий- и родийсодержащих хитозановых пленок. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. Вып. 8. С. 92-98. DOI: 10.6060/ivkkt.20236608.6782.
75. Polyakova A.S., Murashova N.M. Diameter of droplets of reverse microemulsions of sodium di-(2-ethylhexyl)phosphate and sodium dodecyl sulfate: experimental data and calculation methods. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 2. P. 66-72 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216402.6287.
76. Gutnova T.S., Kompantsev D.V., Gvozdenko A.A., Kramarenko V.N., Blinov A.V. Nanoencapsulation of vitamin D. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 5. P. 98-105 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216405.6399.
77. Tukhtaev K.R., Khamidov O.Z., Sultanova R.K., Chinibekova N.K. Extract from chamomile flowers on bitter almond oil and obtaining stable emulsions based on it. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 7. P. 61-67 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216407.6306.
78. Erzunov K.A., Odintsova O.I., Tregubov A.V., Ilyicheva M.D., Lipina A.A. The obtaining nanosized zinc-containing functional coatings on textile materials. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N. 9. P. 89-95 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
79. Ocepek B., Forte-Tavčer P. Microencapsulation in textiles. *Tekstilec*. 2016. V. 59. N 4. P. 278-288.
80. Jyothi Sri S., Seethadevi A., Suria Prabha K., Muthuprasanna P., Pavitra P. Microencapsulation: A Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2012. V. 3. P. 509-531.
81. Lipina A.A., Petrova L.S., Odintsova O.I., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Ilyicheva M.D. Microcapsulation of active fragments of biopolymers containing Tyr-Pro-hydrochloride dipeptides. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 97-104 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.
82. Lebedeva O.A., Sedelkin V.M., Potekhina L.N. Technology of production and characteristics of chitosan nanofiltration membranes. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 1. P. 58-65 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6340.
83. Dolgopyatova N.V., Novikov V.Yu., Kuchina Yu.A., Konovalova I.N. The influence of deacetylation conditions on the physicochemical properties of chitosan from crustacean shells. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 5. P. 77-86 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6563.
84. Godzishvskaya A.A., Lopashinova E.P., Kurasova M.N., Kritchenkov A.S., Andreeva O.I. Mechanical, antibacterial and antiproliferative properties of iridium- and rhodium-containing chitosan films. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 8. P. 92-98 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236608.6782.

Поступила в редакцию 12.04.2024
Принята к опубликованию 27.05.2024

Received 12.04.2024
Accepted 27.05.2024