



doi <https://dx.doi.org/10.36522/2181-9637-2022-2-4>

UDC: 638.22:224:591.105:57.045:634.38:6.022.69

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ В ШЕЛКОВОДСТВЕ, ТЕХНОЛОГИИ ШЕЛКА И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ

Мадьяров Шухрат Раимджанович,

доктор биологических наук, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института шелководства Ассоциации «Узбекипаксаноат», ведущий научный сотрудник Института биофизики и биохимии Национального университета Узбекистана, e-mail: shuhm@yandex.ru

Введение

Узбекистан является давним и значимым мировым производителем коконов, шелка-сырца, шелковых товаров и продуктов. Более 60% продукции шелководства и ее переработки в бывшем СССР приходилось на долю Узбекистана. Шелковица (Ш) *Morus alba* L. и тутовый шелкопряд (ТШ) *Bombyx mori* L., представляющие производственную основу шелководства, пришедшего к нам из глубины веков, в результате активной деятельности человека сильно изменены по сравнению с дикими видами. В связи с этим шелководство с полным основанием можно отнести к традиционным биотехнологическим производствам наряду с животноводством, растениеводством, хлебопечением, сыроделием, виноделием и другими, пришедшими из древности производствами.

В данной обзорной статье излагаются интенсивные исследования и разработки, основанные на фундаментальных знаниях о хозяйственно важном насекомом – тутовом шелкопряде (ТШ) *Bombyx mori* L. В ней освещается развитие в Узбекистане современных биотехнологических подходов и методов, разрабатываемых в шелководстве, по переработке коконного сырья

Аннотация. В данной статье представлены исследование и разработки, основанные на фундаментальных знаниях о шелкопряде *Bombyx mori* L. В ней освещены аспекты разработки биотехнологических подходов, используемых в шелководстве, при переработке коконов и в ресурсосбережении. Исследования посвящены детальной разработке состава искусственного корма для тутового шелкопряда, определению различных областей его практического применения, в том числе в экспериментах в космосе. Изучены процессы дыхания, пищеварения и биотрансформации продуктов и отходов шелководства на ферментативном уровне. Исследованы и разработаны методы биоконтроля тутовой огневки *Glyphodes pyloalis* Wlk. в системе IPM. Развита биотехнологическая система для рационального использования сырья и отходов шелкового производства, получения фиброина и серицина, а также на их основе – композитов и полуфабрикатов для фармацевтической, медицинской, косметической, пищевой промышленности и бионанотехнологий. Исследована структурная организация фиброина в волокне и композитах. Как показали результаты проведенной работы, выбранное направление исследований оказалось достаточно актуальным и полезным, и его дальнейшее развитие приведет к безотходному, диверсифицированному и рентабельному производству новой продукции в высокотехнологичных специализированных кластерах.

Ключевые слова: тутовый шелкопряд, пищевая биотехнология, космический эксперимент, биоконтроль вредителей, бионанотехно-



логия шелка, доставка лекарств, персонализированная медицина, биомедицинские разработки, ресурсосбережение.

**ИПАКЧИЛИК, ИПАК ТЕХНОЛОГИЯСИ ВА
РЕСУРСЛАРНИ ТЕЖАШДА БИОТЕХНОЛОГИК
ЁНДАШУВЛАР ҲАМДА УСУЛЛАРНИ ҚЎЛЛАШ**

Мадьяров Шухрат Раимджанович,
биология фанлари доктори,
«Ўзбекипаксаноат» уюшмаси
Ипакчилик илмий-тадқиқот институти
лаборатория мудирини,
Биофизика ва биокимё институти
Мирзо Улуғбек номидаги Миллий университети
етакчи илмий ходими

Аннотация. Ушбу мақолада *Bombyx mori L* ипак қурти ҳақидаги фундаментал билимларга асосланган тадқиқот ва ишланмалар ёритилган. Шунингдек, ипакчилик, пиллани қайта ишлаш ва ресурсларни тежашда қўлланиладиган биотехнологик ёндашувларнинг ривожланиши тадқиқ этилган. Тадқиқот ипак қурти учун сунъий озуқа таркибини ишлаб чиқиш, уни амалий қўллашнинг турли йўналишларини аниқлаш, жумладан, космосда тажрибалар ўтказишга бағишланган. Пиллачилик маҳсулотлари ва чиқиндиларининг ферментатив даражада нафас олиш, ҳазм қи-

и отходов в новые продукты и товары, а также ресурсосбережения. В этом новом направлении достигнуты значительные результаты [1, 2].

Состояние и перспективы разработки искусственного корма (ИК) для ТШ

Химические, биохимические и биотехнологические основы разработки искусственного корма (ИК) для ТШ из местного сырья, его изготовление, хранение и области применения

1. Проведены исследования химического и биохимического состава почвы, листьев, ветвей, корней, гриба шелковицы (Ш), грены, гусениц, куколок, оболочек коконов, кутикулы и экскрементов ТШ, образцов ИК, его составных компонентов (табл. 1–3) [1-5]. Эти и подобные исследования стали основой выбора потенциальных компонентов ИК, для сравнения природных ингредиентов и коррекции состава ИК.

Таблица 1

Содержание сырого протеина, общих сахаров, липидов, золы и влажность в некоторых компонентах ИК, %

№	Образец	Сырой протеин	Общие сахара	Общие липиды	Зола	Влажность
1.	Листья шелковицы «Таджикская бессемянная», порошок (05.05.86)	25,36	8,47	1,5	8,48	9,32
2.	-- « -- -- « -- (13.05.86)	23,99	8,64	2,7	9,47	9,43
3.	-- « -- -- « -- (16.05.86)	23,40	8,95	3,7	9,42	9,22
4.	Сортосмесь (10.09.86)	17,5	11,91	-	14,91	8,85
5.	-- " -- -- " -- (10.09.87)	19,77	10,37	2,4	11,71	9,86
6.	Сортосмесь (18.09.86)	17,89	9,05	2,7	11,99	10,23
7.	-- " - с побегом (18.09.87)	17,43	10,27	3,5	12,39	10,38
8.	Сортосмесь (май 1989)	29,71	9,00	*	11,23	8,32
9.	Листья дуба	23,06	4,77	*	18,45	8,46
10.	Листья хлопчатника	16,00	8,62	3,5	23,81	9,01
11.	Каллус листьев шековицы	10,05	19,76	*	5,66	10,74
12.	Хлорелла	43,87	*	*	7,35	8,11
13.	Гусеницы ТШ (V возраст, мука)	43,50	0,76	19,70	3,98	7,00
14.	Куколки (мука)	68,44	-	10,70	5,20	7,25
15.	Куколки (обезжиренная мука)	82,45	-	Сл,	6,75	8,51
16.	Рисовая мука	7,02	6,42	9,50	8,96	9,03
17.	Пшеничная мука	7,12	7,17	2,30	2,59	10,17
18.	Ячмень (мука)	9,84	6,82	2,40	3,83	9,85
19.	Отруби пшеничные	9,60	6,15	4,90	2,16	9,86
20.	Рыбная мука	83,32	-	15,80	3,42	6,76
21.	Протеин из люцерны	83,39	-	*	7,49	4,62



22.	Соевый шрот (Уссурийск)	47,87	9,89	0,40	10,34	7,71
23.	- « - (Аргентина)	48,75	11,9	-	6,68	7,33
24.	Косточковый шрот	35,98	3,46	1,70	3,63	7,22
25.	Сухой обрат	30,60	34,80	*	7,48	7,19
26.	Эприн (БВК - этанол)	58,95	-	1,50	6,50	8,57
27.	Поприн (БВК - нефть)	64,06	-	0,40	8,18	6,71
28.	Кукурузная мезга (45,7% крахмала)	14,92	-	1,90	*	9,90
29.	- « - (27,2% крахмала)	25,58	-	7,80	*	7,33
30.	ИК «Яманаси» (Япония)	25,63	10,43	3,20	9,27	8,75
31.	ИК «Киодо сирио» (Япония)	20,12	9,68	2,90	8,73	9,23
32.	ИК УзНИИШ (Узбекистан)	25,31	13,46	-	10,12	10,48
33.	Экскременты (I возраст)	6,87	6,70	0,8	7,88	8,26
34.	- « - (II возраст)	9,27	6,16	1,10	8,64	7,58
35.	- « - (III возраст)	11,25	4,88	1,50	9,28	7,42
36.	- « - (V возраст)	13,67	2,46	-	19,72	7,42

* Не определялось.

2. Также изучены процессы химической и биохимической трансформации компонентов ИК некоторых отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности для повышения пищевой ценности, питательности, усвояемости, а также по выявлению новых кормовых ресурсов и их рациональному использованию [3-6].

3. Изучены ферментные составы кишечника, перитрофической мембраны, кишечного сока, симбиотических микроорганизмов ТШ, а также листьев Ш, участвующих в брутто пищеварении у ТШ. При создании ИК с достаточной степенью переваривания и усвоения следует по возможности сохранить активность гидролитических ферментов в растительных компонентах, а также использовать промышленные ферменты или микроорганизмы [1, 2, 6]. Их использование в традиционном шелководстве также приводит к повышению питательности, усвояемости листьев Ш и продуктивности ТШ. Это важно при выкормке ТШ в жаркий сезон Центрально-Азиатского региона [1, 2, 6].

4. Проведены исследования, разработка рецептов ИК для ТШ и их тестирование в условиях континентального климата Узбекистана, зимнего сезона в России (Институт биологии развития, АН РФ, г. Москва), влажного тропического климата Малайзии (шелковые компании SUTERA SEMAI и MARDI штата Теренггану, Малайзия, рис. 1), а также в специфических условиях космоса на борту научного спутника Земли «Бион-10» (Россия) [1, 2, 6, 7].

*лиш ҳамда биотрансформация жараёнлари ўрганилган. Тут парвонасини *Glyphodes pyloalis* Wlk. бионазорат қилиш усуллари тадқиқ этилган. ИПМ тизимида ипак ишлаб чиқариш хомашёси ва чиқиндиларидан оқилона фойдаланиш, фиброин ва серицин ишлаб чиқариш, шунингдек, уларга асосланган композициялар ва ярим тайёр маҳсулотлар учун биотехнологик ёндашувлар ишлаб чиқилган. Фиброиннинг толалар ва композитлардаги таркибий ташкил этилиши ўрганилган. Тадқиқот натижасида танланган йўналишнинг жуда долзарб ва самарали эканлиги аниқланди. Уни янада ривожлантириш янги ипак маҳсулотларини юқори технологияли ихтисослаштирилган кластерларда чиқиндисиз, диверсификацияланган ва тежамкор ишлаб чиқаришга олиб келади.*

Калит сўзлар: ипак қурти, озиқ-овқат биотехнологияси, космик тажриба, зараркунандалар бионазорати, ипак бионанотехнологияси, дори воситаларини етказиб бериш, шахсийлаштирилган тиббиёт, биомедикал ишланмалар, ресурсларни тежаш.

APPLICATION OF BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES AND METHODS IN SERICULTURE, SILK TECHNOLOGY AND RESOURCE-SAVING

Madyarov Shukhrat Raimjonovich,

Doctor of Biological Sciences, Head of laboratory
Research Institute of Sericulture
Association "Uzbekipaksanoat"
Leading Researcher
Institute of Biophysics and Biochemistry
National University of Uzbekistan

Abstract. This information presents research and development based on fundamental knowledge about the silkworm called *Bombyx mori* L. It highlights development of biotechnological approaches used in



Таблица 2

Аминокислотные составы белоксодержащих компонентов листьев Ш и ИК

Аминокислоты г / 100 г белка	Обезжиренный соевый шрот	Хлопковый изолят	Весенние листья Ш	Листья Ш по Черно	ИК УзНИИШ		ИК "Сирку мейта"	ИК "Киодо Сирио"
					для младших возрастов	для старших возрастов		
АСП	15,3	1,2	15,5	15,92	12,7	11,3	12,8	12,7
ТРЕ*	4,0	3,5	5,3	4,6	3,9	3,9	4,0	3,9
СЕР	4,9	6,6	4,5	4,98	4,5	5,2	4,7	4,8
ГЛУ*	16,7	15,9	13,7	16,11	17,2	17,8	16,8	16,2
ПРО	6,1	Сл.	4,7	4,90	8,5	10,1	8,9	8,8
ГЛИ	4,2	6,0	5,0	4,41	4,5	4,0	4,5	5,1
АЛА	4,5	2,8	6,1	6,31	4,8	4,0	4,6	5,3
ЦИС	1,5	0,5	1,0	Сл.	1,3	0,9	1,1	1,1
ВАЛ*	4,4	6,6	5,5	6,02	4,3	4,2	4,3	4,7
МЕТ*	0,8	1,4	0,9	Сл.	0,8	0,9	0,8	0,7
ИЛЕ*	4,1	5,7	4,7	4,0	4,1	4,2	4,1	4,4
ЛЕЙ*	7,9	11,2	8,3	9,20	7,9	8,2	7,8	8,0
ТИР	3,5	3,2	3,5	2,85	3,0	2,9	3,0	3,0
ФЕН*	5,2	9,7	4,9	4,22	4,9	5,1	4,9	5,1
ГИС*	3,4	7,0	2,8	1,7	3,1	3,1	3,0	2,8
ЛИЗ*	5,0	4,4	6,3	6,1	6,6	5,8	6,7	5,7
АММ	0,4	-	0,4	Сл.	0,4	0,4	0,5	0,5
АРГ*	7,7	14,1	6,8	5,48	7,0	7,4	7,2	7,0

* Незаменимые аминокислоты.

Сл. – следы.

Таблица 3

Анализ ЖК (%) в липидах листьев Ш, гусениц и куколок,
компонентах и в ИК

Жирная кислота	Порошок листьев шелковицы			Липиды		Масло			ИК корм			
	весна, кормо- смесь	осень, кормо- смесь	осень, ТБ	куко- лок	гусениц, V воз- раста	хлопко- вое	сое- вое	семян Ш.	"Киодо Сирио" Яп.	"Сирку- мейта", Яп.		УзНИИШ
										сеточ- ный	поро- шок	
12:0	—	—	0,1	—	—	—	—	—	—	0,2	—	—
14:0	0,2	0,6	0,2	0,2	—	—	0,8	—	0,9	0,5	0,5	0,4
14:1	1,2	1,9	0,4	—	—	—	—	—	0,5	0,5	1,0	—
15:0	0,6	0,5	0,5	—	—	—	—	—	0,3	—	0,2	—
16:0	28,2	24,8	18,5	9,9	28,6	11,4	25,4	9,3	28,1	24,3	27,1	15,9 15_9, ' 1
16:1	0,2	0,5	0,2	0,3	—	—	—	—	1,9	1,8	0,8	0,5
16:2	1,0	—	1,4	—	—	—	—	—	0,6	0,6	1,2	—
17:0	—	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	2,2	—
18:0	2,2	2,9	2,4	31,5	0,9	3,1	2,4	3,6	4,1	1,5	3,7	3,9
18:1	2,2	2,2	2,0	19,8	41,1	22,8	18,1	5,8	11,8	5,4	4,3	16,1
18:2	18,9	17,2	18,6	9,3	3,6	54,5	52,2	81,3	20,8	19,3	17,2	40,4
18:3	41,9	49,4	53,6	29,0	25,8	8,2	0,5	—	27,3	44,9	32,1	19,0
20:0	1,2	—	0,8	—	—	—	0,2	—	0,6	—	0,4	0,7
20:2	2,2	—	1,2	—	—	—	0,4	—	3,1	—	1,6	3,1
Σ П	32,4	28,8	22,6	41,6	29,5	14,5	28,8	12,9	34,0	27,5	41,8	20,9
Σ Н	67,6	71,2	77,4	58,4	71,5	85,5	71,2	87,1	66,0	72,5	58,2	79,1



5. В результате научно обоснованного отбора потенциальных компонентов ИК из продуктов, полупродуктов и отходов местной промышленности и скрининговых биотехнологических экспериментов по приготовлению и испытанию большого числа макро- и микронутриентов разработано около 30 рецептов питательных сред для ТШ, позволяющих получать коконы с массой до 1,7 г, а по комбинированной технологии (1-3 возраста на ИК, 4-5 на листьях Ш – от 2,0 до 2,5 г [1, 2, 6]. Получены авторские свидетельства и патенты по способам получения ИК для ТШ [8-11]:

а) разработаны биотехнологические методы предобработки сырья и отходов, повышающие их питательность, усвояемость и ускоряющие в составе ИК развитие и продуктивность ТШ (замена сахара, крахмала, целлюлозы и агара) [1, 2, 6, 9];

б) установлены скрытые резервы повышения продуктивности ТШ и более полного использования кормового субстрата.

*sericulture, cocoon processing and resource-saving. The research is devoted to a close development of artificial diets for silkworms, their use in various fields of practical application, including in outer-space experiments. The processes of respiration, digestion at *B. mori* L. and biotransformation of sericulture products and wastes at the enzymatic level have been explored; as well as methods for biocontrol of mulberry pyralid *Glyphodes pyloalis* Wlk. have been investigated and developed in the IPM system. Biotechnological approaches have been developed for rational use of raw materials and waste left from the silk-making processes, for production of fibroin and sericin, as well as composites and semi-finished products based on them - for pharmaceutical, biomedical, cosmetic and food industries and biotechnology. The structural organization of fibroin in fiber and composites has been researched. As the findings show, the research area in question proves to be quite fruitful and its further development will lead to a waste-less, diversified and profitable production of high-tech silk products and goods.*

Keywords: silkworm, nutrition biotechnology, space experiment, pest biocontrol, silk biotechnology, drug delivery, personalized medicine, biomedical developments, resource-saving.

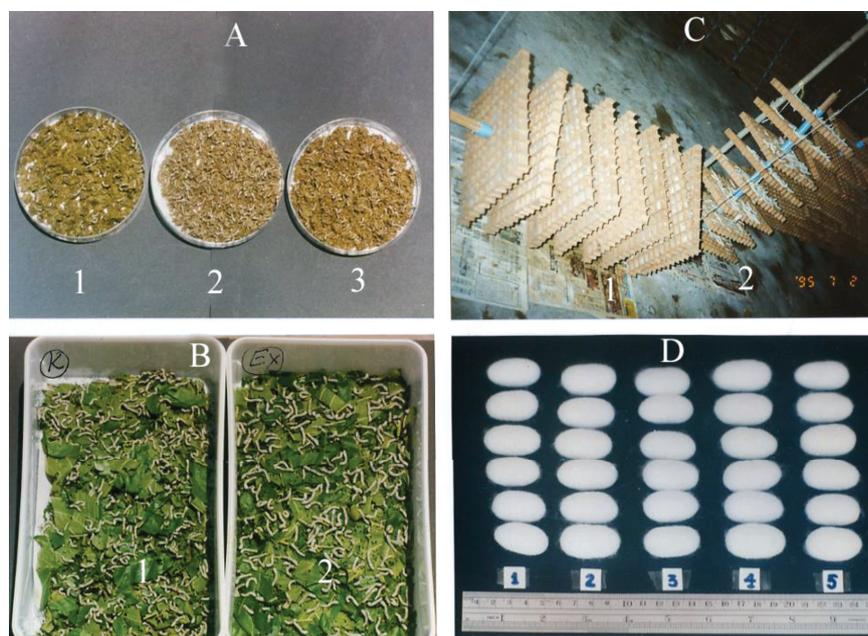


Рис. 1. Влияние кормовой добавки «EVA» на развитие гусениц ТШ на ИК и листьях Ш в условиях тропического шелководства Малайзии:

- A1** – гусеницы ТШ I возраста на ИК Японии; **A2** – ИК Малайзии + «EVA»; **A3** – ИК Малайзии;
B1 – гусеницы ТШ II возраста (контроль); **B2** – опыт с препаратом «EVA»;
C1 – завятые коконы опыта; **C2** – гусеницы в контроле;
D – полученные коконы; **D1** – контроль (лист); **D2** – с препаратом «EVA»;
D3 – на ИК Японии; **D4** – ИК Малайзии + «EVA»; **D5** – ИК Малайзии



Так, до 50% сырых протеинов остаются в экскрементах неперевавшими. На примере протеаз, фосфолипаз и дыхательных ферментов выявлены механизмы и способы активации и регуляции ферментных систем в пищеварении: использование специфических активаторов, синергизма водорастворимых и мембранно-связанных протеаз в расщеплении белков, условия поддержания пищеварительной системы и всего организма насекомого в более энергизированном состоянии [1, 2, 6, 12]. Разработан принцип ранней стимуляции гусениц для повышения конечной продуктивности ТШ, при этом затраты незначительные, а продукция коконов – повышенная [1, 2, 6];

в) использованы эффективные природные (фитостерины, биофлавоноиды, экидстероиды и др.) и синтетические биорегуляторы (металлоорганические комплексы и макрогетероциклические соединения), модифицирующие ИК с повышением питательности, усвояемости и продуктивности в производстве коконов, их технологических параметров и репродуктивных свойств [1, 2, 6, 8, 11, 13, 14];

г) создана совместно с Конструкторским бюро по шелководству (Ташкент) экспериментальная установка по получению ИК для ТШ. С использованием комбинированной технологии выкормки и выведением адаптированных к ИК пород ТШ получены коконы с качеством, не хуже производственных [1, 2, 6];

д) ТШ с его высоким биогенным потенциалом при массовом разведении с использованием ИК может быть применен для получения более ценных животных белков, ферментов, липидов, углеводов, средств нетрадиционной медицины и др. БАВ, в генно-инженерных и эпидемиологических исследованиях, мониторинге окружающих и экстремальных условий среды (условий космоса, высокогорья, объектов заражения патогенами и техногенных катастроф, а также в образовании) [1-6].

Состояние и перспективы разработки интегрированных мер борьбы с вредителями в тутоводстве.

Биотехнологические подходы в разработке и применении современных средств биоконтроля тутовой огневки (ТО) в интегрированной системе борьбы с ней [1, 2, 15-17]:

1. Определены появление, степень и причины беспрепятственного распространения ТО *Glyphodes pyloalis* Walker – опасного вредителя Ш. Химическая обработка зараженной Ш неэффективна – поражаются в основном энтомофаги, что стимулирует дополнительное размножение ТО. Изученные особенности биоэкологии объясняют ее резистентность, распространение и причинение ущерба. Выявлены природные агенты биоконтроля вредителя (энтомофаги и патогены), определены возможности биотехнологии их воспроизводства и применимости [1, 2, 16, 17]:

а) установлены часто встречаемые на Ш энтомофаги ТО – *Bracon hebetor* Say и златоглазка *Chrysopa carnea* Steph., разводимые на биофабриках, а также коровки *Adonia variegata* Goes, пауки *Aranei*, муравьи *Formica rufa*, шершень *Vespa orientalis*, осы – и новые – перепончатокрылое из семейства *Elasmidae* и мушка *Leucopis bona* Rohd; рассмотрены возможности создания приманок [1, 2, 15]. Из ядовитой железы бракона выделены нейротоксические фракции с молекулярными массами более 40 кДа. Яд бракона и его активные фракции поражают насекомых, среди которых новые хозяева бракона – ТО и ТШ. Даны рекомендации по применению энтомофагов и патогенов [1, 2, 15-17];

б) бакуловирусные биоинсектициды (пятое поколение пестицидов) – дикий АсМNPV и ген-модифицированный АсАaIT – эффективно поражают ТО, но не воздействуют на ТШ, что можно использовать для раннего контроля вредителя [1, 2, 16]. Другие энтомопатогенные агенты – бактериальные, грибные и нематодные – действовали и на ТШ и могут быть использованы вне зон и сезона шелководства. Важное



значение в защите Ш уделяется феромоновым ловушкам, следовым и пищевым аттрактантам [1, 2, 17]. В интегрированной системе борьбы с ТО и другими вредителями тутоводства возможно использование и «щадящей химии», механизм действия которой не вредит теплокровным. Из-за идентичности эндогенного вируса ТО и денсовируса ТШ с размножением вредителя повышается угроза поражения им ТШ [1, 2, 15, 17];

в) самым эффективным, экологичным и беззатратным методом контроля ТО остаются зимние морозы, веро-

ятность и прогнозирование которых снижается с глобальным потеплением. Об этом свидетельствует тот факт, что часть регионов Узбекистана (степных и пустынных) с постоянными холодными зимами с момента появления вредителя остаются незаражаемыми (западная часть Узбекистана). С применением тотальных мер интегрированной борьбы с ТО и в зараженных районах можно полностью избавиться от этого вредителя после холодных зим, такой как в 2008 г. (-15...-20 °С по всему Узбекистану) (рис. 2) [1, 2, 15-17].



Рис. 2. Влияние холодной зимы 2008 г. на зараженность шелковицы тутовой огневкой по областям Республики Узбекистан

Рациональное использование шелка-сырца и отходов:

- использование экологически чистого, биопротективного метода морки, сушки и стерилизации биологических объектов на основе функциональной керамики позволяет сохранить в гусеницах, куколках, коконах и других биоматериалах из них в нативном состоянии весь комплекс БАВ с одновременным повышением технологических параметров размотки коконов и качества шелковой продукции [1, 2, 6, 18]. Сохранность нативности относится и к ИК и его компонентам: ли-

пидам, белкам, ферментам, витаминам, гормонам, аттрактантам, пигментам и многим другим БАВ. Этот экологический метод, как показали исследования, можно использовать комплексно, получая высушенную и стерилизованную продукцию сельского хозяйства, животноводства и медицинского растениеводства, а цветные отходы (очистки, кожура, шелуха плодов) после такой сушки – как естественные красители для тканей, в том числе и шелковых, а также в пищевых, косметических и фармацевтических производствах [2, 6, 8];



а) куколки, кутикулы, бабочки, экскременты, серицин в сточных водах шелковых фабрик, волокнистые и др. отходы – важный ресурс отрасли, использование которого обеспечит безотходность, повысит рентабельность производства и занятость населения. Из куколок ТШ одноступенчатой и двухступенчатой экстракцией получены белок-хитиновый и липидный концентраты, при фракционировании которых получены белково-органические фракции, сырой хитин, а также фракции нейтральных, фосфо-, глико- и сульфолипидов – ценные продукты для липосомной технологии доставки лекарств, каждый из видов которых химически охарактеризован. Сырой хитин превращен в отбеленный хитин и хитозан (до 30% от сырого хитина) [1-6];

б) гидролизаты фиброина, серицина и ряда других не утилизируемых белков по-

лучены усовершенствованным химическим методом до любой заданной глубины гидролиза со свойствами конечного продукта, не требующими дополнительной очистки и выходами, значительно превышающими в традиционном аналоге [1, 2, 6, 19]. Улучшение качества продукции достигнуто при гидролизе белковых субстратов растворимыми и иммобилизованными протеазами на углерод-минеральных сорбентах или на фиброиновых биосорбентах [1, 2, 6, 20]. В этих процессах удается избежать ингибирования продуктом реакции в специально сконструированном биореакторе «искусственный кишечник» [1, 2, 6]. Полученные гидролизаты опробованы как антиоксидантные и солнцезащитные добавки в кремах, для повышения питательности и усвояемости ИК и питательных сред для ТШ и других насекомых, а также как нейромедиаторы (рис. 3) [1, 2, 6, 19];

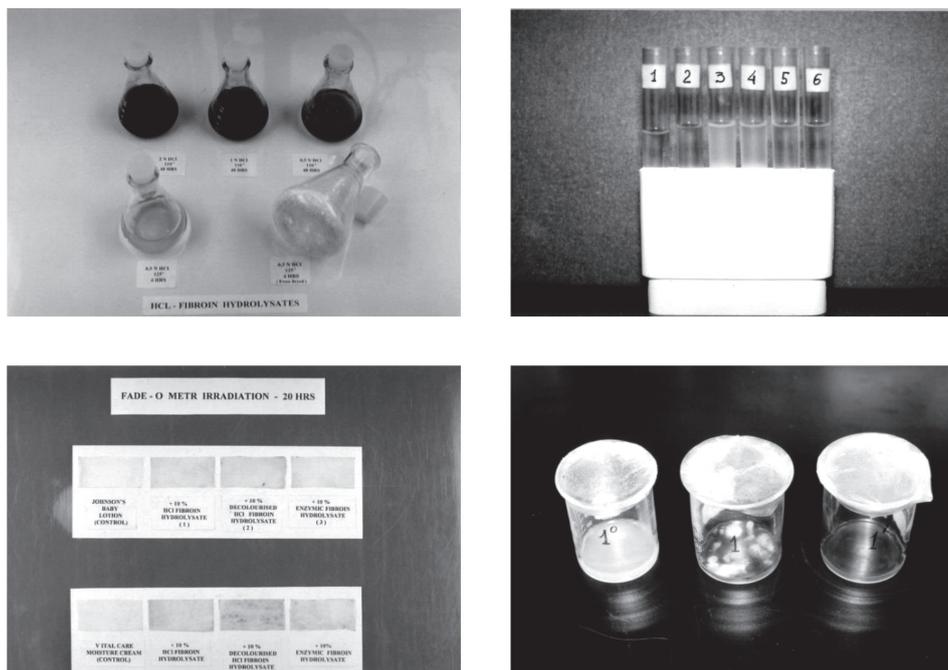


Рис. 3. Гидролизаты фиброина (А), полученные по старому (верх) и по новому методу (нижний ряд), (Б) – тирозин из хроматографических фракций, (В) – действие УФ-облучения на гидролизаты в кремах, (Г) их устойчивость к заражению микроорганизмами

- биополимеры шелка, будучи биосовместимыми и биodeградируемыми белками, нашли более ценное применение в

нативной форме [1, 2, 6, 21-23]. Из регенерированного фиброина шелка получены растворимые и нерастворимые полуфаб-



рикаты (рис. 4), с помощью которых можно получать большое многообразие новых биотехнологических продуктов и товаров. Фиброиновые биосорбенты и композиты являются незаменимым материалом в конструировании биосенсоров, доставке лекарств, тканевой инженерии, трансплантологии, моделировании высокоэффективных ферментных систем, подобных перитрофической мембране насекомых или кишечной мукозе животных, создании аналогов транспортных везикул, твердых липосом и некоторых других частей живой клетки, а также в защите живых клеток от внешних факторов [1, 2, 6, 22-24]. На основе фиброина созданы стабилизированные липолитические ферменты, функционирующие в безводных средах стереоспеци-

чески, что важно для химической и фармацевтической индустрии [1, 2, 24-26];



Рис. 4. Образцы стабильных форм регенерированного фиброина шелка для био- и нанотехнологических целей: А – растворимая, Б – нерастворимая форма

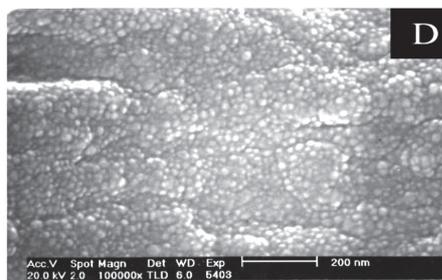
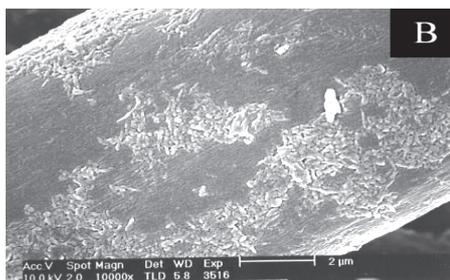
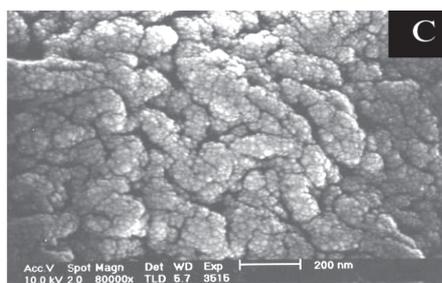
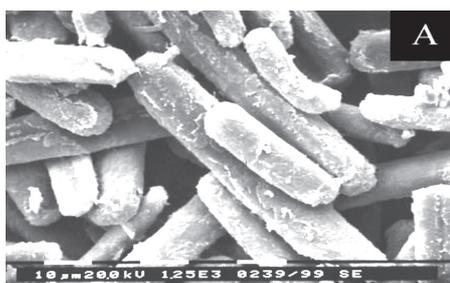


Рис. 5. СЭМ-снимки образцов сорбентов из нити шелка: А – масштаб 10 мкм, В – 2 мкм, С – 200 нм и регенерированного фиброина, D – 200 нм

- исследована структурная организация фиброиновых биосорбентов и композитов, состоящая из сближенных к друг другу наноглобул (10-20 нм) (рис. 5 и 6). Эти структурные единицы, по-видимому, представляют собой выросшие нанокристаллы из спонтанно образуемых центров кристаллизации в концентрированных растворах фиброина в условиях быстрой дегидратации при формировании нити в про-

цессе завивки кокона из секрета шелковой железы шелкопряда и при сублимации композитов из регенерированного фиброина. В промежутках между наноглобулами находится аморфная форма фиброина. Такая структурная организация фиброина не отрицает устоявшегося представления модели «шиш-кебаба» и не противоречит современным аморфно-кристаллическим моделям [1, 2, 6, 21, 22];

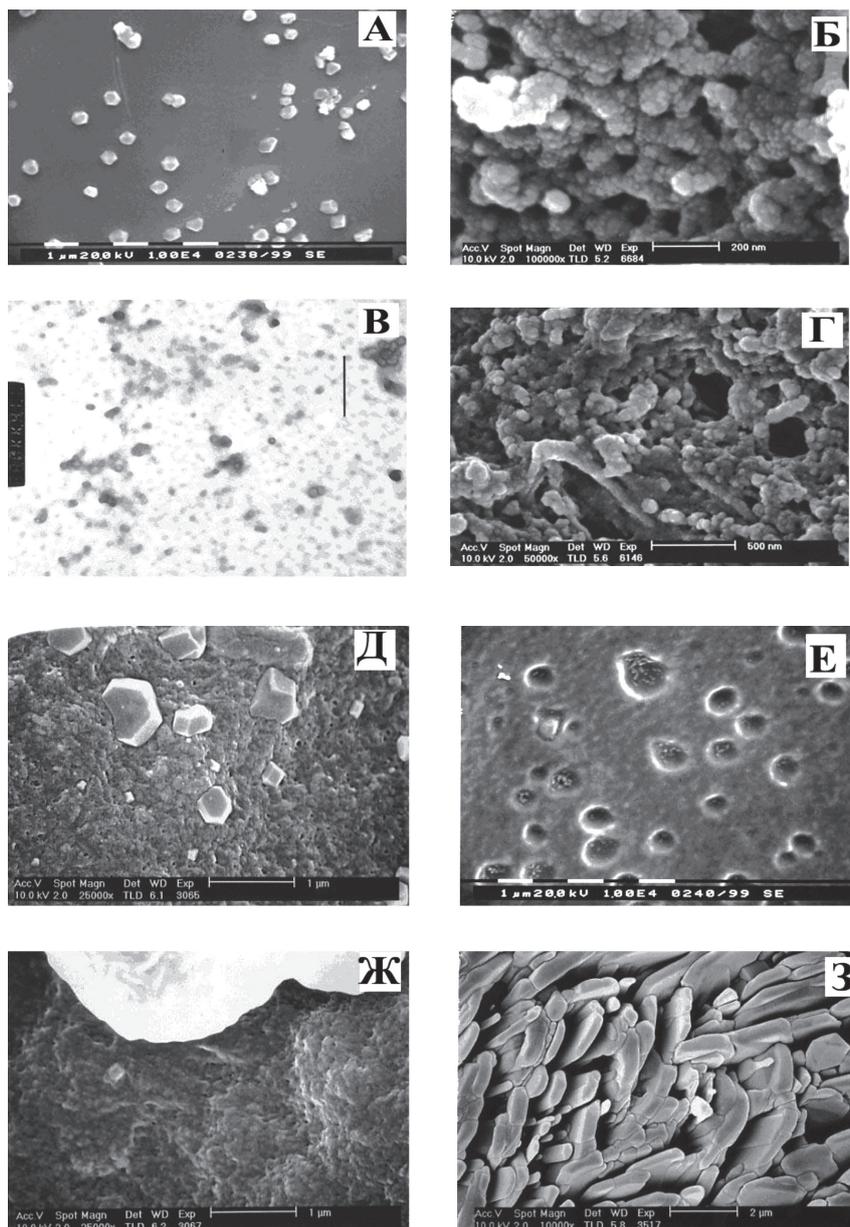


Рис. 6. ЭМ-снимки наночастиц фиброин-ПАА-липаза (F-PAА-CRL (А) и F-ДГ (Б), F-PLD (В), F - лизоцим (Г), F-*E.coli* (Д), F-витамин В₁₂ (Е), F - дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* (Ж) и F-цитохром с (З) композиты

- в проектах последних лет разрабатываются физико-химические и биотехнологические способы утилизации побочных продуктов и отходов шелкового производства в полезные для народного потребления импортозамещающие и экспортно-ориентированные товары. В связи с этим получены удовлетворительные результаты по выделению из волокнистых отходов исходных полуфабрикатов – матричных форм из белков шелка, фиброина и сери-

цина, обладающих уникальными физико-химическими, краудинговыми, шапероновыми и санитарными свойствами, а также самосборкой, биосовместимостью, биорезорбтивностью, которые так необходимы для 3D-принтерования, биомедицинского протезирования, создания микробиосенсоров, лечебного питания, для трансдермальной, персонализированной и регенеративной терапии, а также при создании малотоксичных лекарственных



препаратов для лечения нейродегенеративных и метаболических заболеваний.

Выводы

На основании комплекса проведенных исследований и разработок могут быть сделаны следующие рекомендации по их использованию:

В области шелководства. На основе разработанных рецептов и методов их приготовления с использованием продуктов, полупродуктов и отходов местной промышленности могут быть произведены ИК для массового разведения ТШ в условиях континентального (Центральной Азии) и тропического (Малайзии) климата.

Сферы возможного непроизводственного использования ИК и ТШ:

ТШ как тест-организм:

– в НИУ по биоиспытаниям новых химических соединений и биопрепаратов;

– в НИУ по генетике и селекции, физиологии и биохимии, зоологии, эпидемиологии, мутагенезу и канцерогенезу, фармакологии, иммунологии, токсикологии, медицине, питанию, в экологических, космических и других экстремальных исследованиях, а также в зонах техногенных катастроф;

– в НИИ и станциях шелководства для круглогодичных исследований по генетике, селекции, борьбе с болезнями ТШ, выявлению биопрепаратов и биостимуляторов для ТШ, для оценки качества грены и т. д.

ТШ как продуцент БАВ:

– в генно-инженерных разработках, в которых ТШ выступает в качестве продуцента ГМ биополимеров (фиброина и серицина), высокоэффективных лекарственных пептидных препаратов, гормонов, ферментов и других продуктов (интерферона, гормона роста, биоинсектицидов, вакцины, в том числе и от COVID-19);

– в инженерной энзимологии и биотехнологии (выделение ферментов, их ингибиторов и других биорегуляторов из грены, гусениц и куколок ТШ и получение их микро- и наноматричных форм на основе гидрогелей фиброина шелка);

– получение животных белковых, углеводных, липидных и других БАВ.

ТШ как учебное пособие:

– для изучения биологии, физиологии, биохимии и зоотехники этого насекомого и развития практических навыков по шелководству в начальной и средней школе, профтехучреждениях и вузах.

В области тутоводства для контроля ТО могут быть эффективно использованы изученные в работе энтомофаги (бракон, златоглазка и др.), дикий и рекомбинантный вирусные препараты AcMNPV и AcAaIT, некоторые микробные, грибные и нематодные препараты, а также выявленные в работе препараты «щадящей» химии в сочетании с сублетальными дозами современных инсектицидов. Для полного искоренения вредителя необходимо использовать тотальные истребительные мероприятия после холодных зим.

В области технологии шелка возможно широко использовать биопротективный метод морки, сушки и стерилизации живых коконов, гусениц, биологических жидкостей, БАВ и композитов из них, искусственных питательных сред, премиксов и БАДов. Рационально использовать побочные продукты и шелковые отходы отрасли с применением разработанных иммобилизованных ферментов и биореакторов типа «искусственный кишечник» [1, 2, 6], а также в получении из них микро- и наноматричных исходных материалов, биокатализаторов, инкапсулированных средств доставки лекарств, БАВ, биосовместимого материала для создания микро- и нанобиоустройств и других продуктов MEMS и NEMS технологий [27-32].

В заключение следует отметить, что масштабного внедрения достигнутых биотехнологических решений, требующих дополнительных субсидий, не произошло из-за ряда объективных причин (распада СССР, снижения финансирования, нехватки средств для всей слаборазвитой инфраструктуры шелковой отрасли, оттока части трудовых ресурсов на заработки в



другие страны) [1-2]. С другой стороны, научная работа эффективно проходила в нон-стоп режиме в зарубежных научных учреждениях в качестве эксперта и приглашенного ученого [1, 2, 6].

Только за последние пять лет, с созданием Ассоциации «Узбекипаксаноат», вступления Узбекистана в членство Международной комиссии по шелководству (ISC), возросшего уровня инвестиций, а также ряда постановлений Президента Узбекистана и Кабинета Министров, намечился значительный рост шелковой отрасли республики. В связи с этим стали финансироваться проекты по утилизации

отходов, новым направлениям функционального шелководства, а также по созданию высокотехнологичных специализированных шелковых кластеров.

Резюмируя все описанное, следует заключить, что предпринятые биотехнологические подходы и разработанные в данном направлении методы и технологии оказались весьма плодотворными, и при внедрении их в современное шелководство способны повысить рентабельность, занятость населения, многопрофильность производства, значительно улучшить социальный уровень и культуру производства в отрасли.

REFERENCES

1. Madyarov Sh.R. Biotechnological approaches in sericultural science and technology of Uzbekistan. *Int. J. Indust. Entomol.*, 2005, vol. 11, no. 1, pp. 13-19.
2. Madyarov Sh.R. Biotehnologicheskie podhody v shelkovodstve i tehnologii shelka [Biotechnological approaches in sericulture and silk technology]. Doctor's degree dissertation. Tashkent, 2010, 323 p.
3. Madyarov Sh.R., Khalmirzaev M.M., Latishev N.A., Isamukhamedov A. Phospholipid and fatty acid compositions of the lipids of the eggs and caterpillars of the silkworm, and of artificial diets and their components. *Chem. Natur. Comp.*, 1994, vol. 30, no. 2, pp. 175-179.
4. Madyarov Sh.R. Characteristics of some protein preparations for the fodder industry and artificial nutrient media. *Chem. Natur. Comp.*, 1995, vol. 31, no. 1, pp. 120-126.
5. Tolibaev I., Mad'yarov Sh.R., Glushenkova A.I. Lipids of silkworm cocoons. *Chem. Natur. Comp.*, 1995, vol. 31, no. 5, pp. 560-561.
6. Madyarov S.R. Biotechnological advances in sericulture, silk processing and resource saving in Uzbekistan. *Sericologia (Review)*, 2018, vol. 58, no. 3&4, pp. 144-159.
7. Madyarov Sh.R., Ilyin E.A., Janibekov V.A. The silkworm *Bombyx mori L.* on the orbit of Earth artificial satellite. *Sericologia*, 1995, vol. 36, no. 1, pp.109-112.
8. Madyarov Sh.R. et al. Pitatel'naja sreda dlja vykormki gusenit tutovogo shelkoprvjada [Nutrient medium for feeding silkworm larvae]. Author's certificate USSR, 1989, no. 1475568.
9. Madyarov Sh.R. et al. Pitatel'naja sreda dlja vyrashhivanija gusenit tutovogo shelkoprvjada [Nutrient medium for growing silkworm larvae]. Author's certificate USSR, 1990, no. 1546032.
10. Radjabov T.D. et al. Sposob poluchenija korma dlja tutovogo shelkoprvjada [Method of obtaining diet for silkworm]. Author's certificate USSR, 1992, no. 1713530.
11. Madyarov Sh.R. et al. Iskusstvennyj korm dlja vykormki gusenit tutovogo shelkoprvjada [Artificial diet for feeding silkworm larvae]. Patent RUz, 2021, no. IAP 06608.
12. Almatov K.T., Madyarov Sh.R., Pozilova R.A. Dyhanie i okislitel'noe fosforilirovanie mitohondrij tkani razlichnyh otdelov zheludochno-kishechnogo trakta tutovogo shelkoprvjada [Respiration and oxidative phosphorylation of mitochondria of tissue of various parts of silkworm gastrointestinal tract]. *Shelk – Silk*, 1986, no. 3, pp. 10-12.



13. Djuraeva M.K., Kurbanov R.K., Madyarov Sh.R. Projavlenie reproduktivnyh priznakov porod pri sodержanii gusenic na iskusstvennom i estestvennom kormah [The manifestation of reproductive characteristics of breeds when feeding larvae on artificial and natural diets]. *Shelk – Silk*, 1993, no. 3-4, pp. 15-16.

14. Madyarov Sh.R., Khalmirzaev M.M., Islamova Sh.K., Pozilova R.A. Rashkes A.M., Khidirova N.K., Nasirillaev B.U., Abzalov M.F. Biostimulirujushhee dejstvie jekstraktov list'ev hlochatnika pri iskusstvennom pitanii tutovogo shelkopryada [Biostimulating effect of cotton leaf extracts in artificial feeding of mulberry silkworm]. *Uzbekskij Biologicheskij Zhurnal – Uzbek Biological Journal*, 1997, no. 5, pp. 12-17.

15. Madyarov S.R., Mirzaeva G.S., Otarbaev D.O., Khamidi K.S., Kamilova S.I., Akhmerov R.N., Khamraev A.S. Mulberry silkworm *Bombyx mori* L., as a host for neurotoxic *Braconidae*. I. Insect-toxic properties of bracon venom gland extract and its fractions. *Int. J. Indust. Entomol.*, 2003, vol. 7, no. 2, pp. 235-239.

16. Madyarov Sh.R., Khamraev A.Sh., Otarbaev D.O. Dejstvie dikihi rekombinantnogo bakulovirusnyh insekticidov na tutovuju ognevku *Glyphodes pyloalis* i tutovyy shelkopryad *Bombyx mori* L. [Study of effects of wild and recombinant baculoviral insecticides on mulberry pyralid *Glyphodes Pyloalis* Walker and mulberry silkworm *Bombyx mory* L.]. *Uzbekskij Biologicheskij Zhurnal – Uzbek Biological Journal*, 2007, no. 6, pp. 58-62.

17. Madyarov Sh.R. Study of Applicability of Natural Pathogens for Control of Mulberry Pyralid *Glyphodes Pyloalis* Wlk. Proceed. Int. Conf. Application of modern secondary and sweepings resulted from agriculture and food industry in order to obtain new ecological products. Bucharest, Romania, 2008, pp. 4-8.

18. Madyarov S.R. Bioprotective method of concentration, drying and sterilization of biological objects in conditions of continental and damp climate. Proceed. Int. Sci. Conf. INFRA-2000. Tashkent, Uzbekistan, 2000, pp. 72-76.

19. Madyarov Sh.R., Lee K.G., Yeo J.H., Nam J., Lee Y.W. Improved method for preparation of silk fibroin hydrolysates. *Korean J. Sericult. Sci.*, 1999, vol. 41, no. 2, pp. 108-115.

20. Madyarov S.R., Yeo J.H., Lee K.G., Lee Y.W. A comparison of silk fibroin hydrolysates obtained by hydrochloric acid and proteolytic enzymes. *Int. J. Indust. Entomol.*, 2001, no. 2, pp. 7-13.

21. Madyarov S. R. New trends in silk science and technology. Proceed. Int. Congress. Polymers in the 3rd Millennium. Montpellier, France, 2001, p. 87.

22. Madyarov Sh.R. New trends in silk science and biotechnology: From bullet proof clothes to “magic bullet” concept. Abstr. The 43-rd Int. Conf. Biochemistry of Lipids. Austria, Graz, 2002, Chem. Phys. Lipids, 2002, vol. 118, no.1-2, pp. 56-57.

23. Madyarov S.R., Turdikulova S.U., Salikhov S.I. Silk based materials in the design of advanced medicines. Proceed. The 25th Int. Congr. Sericulture and Silk Industry. Section 7. Sericulture in non-textile industries and new silk applications. Japan, Tsukuba, 2019, p. 165.

24. Madyarov Sh. Interfacial refolding and tuning of lipolytic enzymes at membrane like structures. Int. Conf. Protein Engineering. USA, Chicago, 2015, *Proteom. Bioinform.*, 2015, no. 8, p. 10.

25. Madyarov Sh.R. Isolation, purification, stabilization and characterization of phospholipase D preparations from *Raphanus sativus longipinatus*. *Chem. Natur. Comp.*, 2012, vol. 48, no. 4, pp. 552-554.

26. Madyarov S.R. The biotechnological researches and developments on utilization of silk industry wastes. *TINBO Bulletin*, Tashkent, Uzbekistan, Chinorek Publ., 2015, pp. 83-86.

27. Shelkovye implanty: k vnedreniju gotovy [Silk implants: ready for implementation]. Available at: <https://www.popmech.ru/technologies/9655-shelkovye-k-vnedreniyu-gotovy/> (accessed 12.11.2009).

28. V Japonii uchenye sozdajut vakcinu ot COVID-19 pri pomoshhi shelkopryada [In Japan scientists are creating a vaccine against COVID-19 with the help of a silkworm]. Available at: <https://www.uzdaily.uz/ru/post/54142/> (accessed 09.08.2020).

29. Fujita R., Hino M., Ebihara T., Nagasato T., Masuda A., Lee J.M., Fujii T., Mon H., Kakino K., Nagai R., Tanaka M., Tonooka Y., Moriyama T., Kusakabe T. Efficient production of recombinant SARS-CoV-2 spike protein using the baculovirus-silkworm system. *Biochem Biophys Res Commun.*, 2020, Aug 20, vol. 529, no. 2, pp. 257-262.



30. Prakash N.J., Mane P.P., George S.M., Kandasubramanian B. Silk fibroin as an immobilization matrix for sensing applications. *ACS Biomater Sci Eng.*, 2021, Jun 14, vol. 7, no. 6, pp. 2015-2042.

31. Bhattacharjee P., Kundu B., Naskar D., Hae-Won K., Maiti T. K., Bhattacharya D., Kundu. S.C. Silk scaffolds in bone tissue engineering: an overview. *Acta Biomater.*, 2017, Nov, no. 63, pp. 1-17.

32. Sammi A., Divya, Mahapatra S., Kumar R., Chandra P. Nano-bio-engineered silk matrix based devices for molecular bioanalysis. *Biotechnol Bioeng.*, 2022, March, vol. 119, no. 3, pp. 784-806.

Рецензент:

Мирходжаев У.З., д.б.н., профессор кафедры биофизики Биологического факультета Национального университета Узбекистана им. Мирзо Улугбека.