

***А. А. Вековцев***

*ООО «Арт Лайф»*

*(г. Томск, Российская Федерация)*

***Ю. Ю. Куркина***

*Кузбасский государственный аграрный университет*

*(г. Кемерово, Российская Федерация)*

***В. М. Позняковский***

*Кемеровский государственный медицинский университет*

*(г. Кемерово, Российская Федерация)*

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ  
УНИВЕРСАЛЬНОЙ БЕЛКОВОЙ СУБСТАНЦИИ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ  
С ЗАДАНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

*Аннотация.* Разработана биотехнология универсальной белковой субстанции с использованием гидролизованного коллагена животного происхождения и минеральной воды с высоким содержанием кремния. Изучен аминокислотный состав коллагена, рассмотрена роль кремния в поддержании здоровья костной системы и соединительной ткани. Представлен общий перечень производимых ферментированных форм коллагена на предприятиях биотехнологического кластера компании «Арт Лайф». Полученная субстанция и ее промоутеры могут быть использованы в производстве специализированных продуктов различного назначения. Рассмотрена возможность вторичного использования твердых желатиновых капсул в качестве сырьевых компонентов с учетом их гигиенической безопасности, что имеет важное экологическое и экономическое значение.

**Ключевые слова:** биотехнология, универсальная белковая субстанция, ферментированный коллаген, специализированные продукты, желатиновые капсулы

## **BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF OBTAINING A UNIVERSAL PROTEIN SUBSTANCE FOR THE PRODUCTION OF SPECIALIZED PRODUCTS WITH SPECIFIED FUNCTIONAL PROPERTIES**

**Annotation.** *A biotechnology of a universal protein substance has been developed using hydrolyzed collagen of animal origin and mineral water with a high silicon content. The amino acid composition of collagen has been studied, the role of silicon in maintaining the health of the bone system and connective tissue has been considered. A general list of fermented forms of collagen produced at the enterprises of the biotech cluster of the Art Life company is presented. The resulting substance and its promoters can be used in the production of specialized products for various purposes. The possibility of recycling solid gelatin capsules as raw materials is considered, taking into account their hygienic safety, which is of important environmental and economic importance.*

**Keywords:** *biotechnology, universal protein substance, fermented collagen, specialized products, gelatin capsules*

### **Для цитирования:**

*Вековцев, А. А. Биотехнологические аспекты получения универсальной белковой субстанции для производства специализированных продуктов с заданными функциональными свойствами / А. А. Вековцев, Ю. Ю. Куркина, В. М. Позняковский // Вестник биотехнологий. 2024. № 3.*

**Введение.** Основным органическим компонентом костной и зубной ткани является коллаген I типа, который имеет сложную структуру, включающую четыре уровня иерархии. Первичный уровень — это аминокислотные тройки, состоящие в основном из пролина (Pro), гидроксипролина (Hyp) и глицина (Gly) по схеме Gly-Pro-X или Gly-X-Hyp, где X может быть любой другой

аминокислотой [1]. Аминокислотные тройки многократно повторяются, образуя вторичный уровень структуры [2]. Третичный уровень — это хорошо известная тройная спираль, состоящая из трёх взаимосвязанных  $\alpha$ -цепей [3]. Последняя иерархия — это супрамолекулярный уровень, на котором формируются коллагеновые фибриллы или волокна [4]. Затем эти коллагеновые фибриллы продолжают самособираются как линейно, так и в поперечном направлении в гидрогелевую сеть при подходящих физико-химических условиях [5]. Будучи естественным полимером, получаемым из внеклеточного матрикса (ВКМ), материалы на основе коллагена демонстрируют превосходную биосовместимость, которая способствует клеточной адгезии, пролиферации, миграции и дифференцировке. В результате они получили широкое применение во многих областях биомедицины, таких как доставка лекарств, тканевая инженерия, заживление ран и косметическая хирургия [6, 7].

Целью исследований — разработка, получение универсальной белковой субстанции и ее применение в составе специализированных продуктов.

**Материалы и методы.** В качестве основы использованы гидролизированный коллаген животного происхождения и минеральная вода с высоким содержанием кремниевых кислот, которая добывается на территории санатория «Чежемто» (Томская область). Расщепление коллагена осуществляется с помощью биологических катализаторов — ферментов алколазы или коллагеназы без предварительной корректировки pH. Процесс является биохимическим, полностью аналогичен природному и отличается щадящими технологическими параметрами производства.

В качестве объекта исследований использовали форму биологически активного коллагена — «Метаколлаген кремний +» и капсулы ТЖ № 0 зеленый / бесцветный 340 / 340 (МИК); капсулы ТЖ № 0 зеленый / зеленый 564 / 564; капсулы ТЖ № 0 красный / красный 1805 / 1805; синий блестящий 85 %, п 5715768; кармуазин 85 %, п 1111936; медный комплекс хлорофиллина, 97 % п 04220776; желтый хинолиновый, п RP21040042.

*Пробоподготовка для СФ.* Исследуемые растворы ферментированных ТЖК разбавляют деминерализованной водой в 10–50 раз в зависимости от интенсивности окраски. Холостая проба — вода. Проводили два испытания.

*Построение калибровочных графиков красителей.* Готовят стандартный раствор красителя концентрацией 250 мкг / мл с учетом фактического содержания красителя (результаты ОКК), затем рабочие растворы концентрацией 0,5–10 мкг / мл, 0,5–20 мкг / мл для кармуазина. Проводили две повторности.

**Результаты и обсуждения.** Разработана биотехнология нового сырьевого ингредиента-универсальной белковой субстанции «Метаколлаген кремний +» для производства специализированных продуктов с заданными функциональными свойствами.

Результаты исследования минерального состава воды получены в аккредитованной лаборатории и представлены ниже.

**Катионы, мг:** аммоний  $\text{NH}_4^+$  —  $2,8 \pm 0,3$ ; суммарно ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) — 2070,42; магний  $\text{Mg}^{2+}$  —  $< 2,0$ ; кальций  $\text{Ca}^{2+}$  —  $250,0 \pm 4,9$ ; железо закисное  $\text{Fe}^{2+}$  —  $0,15 \pm 0,02$ ; железо окисное  $\text{Fe}^{3+}$  —  $0,14 \pm 0,03$ ; сумма катионов — 2323,09

**Анионы, мг:** фтор  $\text{F}^-$  —  $2,39 \pm 0,09$ ; хлор  $\text{Cl}^-$  —  $3514,5 \pm 69,6$ ; бром  $\text{Br}^-$  —  $4,9 \pm 0,8$ ; йод  $\text{I}^-$  —  $< 0,02$ ; сульфат  $\text{SO}_4^{2-}$  —  $< 9,0$ ; гидрокарбонат  $\text{HCO}_3^-$  —  $213,5 \pm 6,3$ ; карбонат  $\text{CO}_3^{2-}$  —  $< 0,8$ ; нитрит  $\text{NO}_2^-$  —  $0,225 \pm 0,004$ ; нитрит  $\text{NO}_3^-$  —  $2,0 \pm 0,3$ ; сумма анионов 3737,47.

Угольный ангидрид  $\text{CO}_2$  — отсутствует; сероводород общий  $\sum \text{H}_2\text{S}$  —  $10,8 \pm 0,9$ ; кремневая кислота  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  —  $75,7 \pm 11,3$ ; борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  —  $58,4 \pm 2,9$ ; сухой остаток при  $180^\circ\text{C}$   $5776,5 \pm 142,1$ ; минерализация 6194,66; мышьяк As — отсутствует; свинец Pb —  $< 0,001$ ; селен Se — отсутствует; марганец Mn — отсутствует; цинк Zn —  $< 0,001$ ; кадмий Cd —  $< 0,001$ ; медь Cu —  $< 0,001$ ; ртуть Hg —  $< 0,001$ .

Определена ионно-солевая формула исследуемой воды:

$\text{Cl } 97 \text{ HCO}_3 \text{ } 3$

$\text{H}_2\text{SiO}_3 \text{ } 0,076 \text{ H}_3\text{BO}_3 \text{ } 0,058 \text{ H}_2\text{S } 0,011 \text{ M } 6,2 \text{ (Na + K) } 88 \text{ Ca } 12 \text{ pH } 7,24 \text{ t } 48^\circ\text{C}$

Исследован аминокислотный состав новой формы биологически активного коллагена — «Метаколлаген кремний +», полученного биотехнологическим способом ферментативного гидролиза пищевого говяжьего желатина марки П-180 тип Б с использованием протозима С (протеаза грибная щелочная) 50000 ед / гр. Высокое содержание кремния обеспечивается применением кремниево-минеральной лечебной воды, добытой в Западной Си-

бири из скважины глубиной 850 метров на территории санатория «Чажемто» Томской области. Содержание кремниевой кислоты в одном литре воды составляет  $75,7 \pm 11,3$  мг.

Разработанная форма БАД представляет смесь коллагенов 1, 2 и 3 типов с хорошими органолептическими характеристиками. Коллаген первого типа составляет 90 % коллагена, входящего в состав сухожилий, органов и костей, второго — в состав хрящей колена, плеч других суставов, третьего — является основным типом хряща ретикулярных волокон, встречается, где и коллаген первого типа.

Молекула коллагена (тропоколлагена) построена из трех пептидных цепей, каждая из которых содержит 1000 аминокислотных остатков. Необычен аминокислотный состав коллагена: каждая третья аминокислота — это глицин, 20 % составляют остатки пролина и гидроксипролина, 10 % — аланина, остальные 40 % представлены всеми другими аминокислотами. Коллаген — единственный белок, в котором содержится гидроксипролин.

Аминокислотный состав гидролизованного коллагена представлен в таблице 1.

Гидролизированный коллаген (метаколлаген) состоит из аминокислот, играющих важную роль в развитии и здоровье человека. Содержит в своем составе более 50 % суммы глицина, гидроокси- $\alpha$ -пролина и пролина, а также семь из восьми незаменимых аминокислот — лейцин, изолейцин, валин, лизин, метионин, треонин и фенилаланин.

Содержащийся в метаколлагене кремний выполняет в организме многосторонние функции. Следует отметить, что живые ткани проявляют определенное сродство к кремниевой кислоте. Присутствие соединений кремния в организме крайне необходимо. В своих метаболических процессах кремний биохимически тесно связан с некоторыми другими элементами (Ca, P, Na, K, S, Al, Co). Эффективное поглощение кремния в желудочно-кишечном тракте предполагает наличие его растворимых форм, таких как орто-кремниевая кислота, присутствующая в питьевой и минеральной воде в диапазоне от 2 до 5 мг / л.

В настоящее время установлено, что соединения кремния необходимы для нормального функционирования эпителиальных и соединительных тка-

ней, которым они придают прочность, эластичность и непроницаемость. Указанные свойства соединительных тканей, обусловленные наличием в них кремния, важны не только для кожных покровов, но и кровеносных сосудов, в которых он сосредоточен главным образом в эластине и, в меньшей мере, в коллагене. При атеросклерозе содержание кремния в соединительной ткани значительно снижается. Это приводит к нарушению эластичности стенок

**Таблица 1** — Аминокислотный состав гидролизованного коллагена

Аминокислота	Содержание, мг / гр ( $m \pm SEM$ )	Содержание, % от суммы
Аспарагин. к-та	41,29 ± 0,07	5,5
Гидрокси-L-пролин	112,09 ± 0,02	14,9
Треонин	12,18 ± 0,14	1,6
Серин	22,11 ± 0,18	2,9
Глутамин. к-та	72,91 ± 0,57	9,7
Пролин	129,62 ± 0,20	17,2
Глицин	165,69 ± 0,57	22,0
Аланин	67,37 ± 0,47	8,9
Валин	16,27 ± 0,12	2,2
Метионин	3,21 ± 0,06	0,4
Изолейцин	10,78 ± 0,09	1,4
Лейцин	20,36 ± 0,18	2,7
Фенилаланин	12,63 ± 0,15	1,7
Гистидин	3,71 ± 0,05	0,5
Лизин	20,15 ± 0,64	2,7
Аргинин	37,46 ± 0,69	5,0
Гидроксилизин	5,21 ± 0,14	0,7

артерий за счет снижения уровня эластина, ответственного за их упругость. Одновременно возрастает проницаемость стенок, благодаря чему липиды проникают в плазму и откладываются внутри кровеносных сосудов. Аналогичные изменения происходят при старении организма, поэтому атеросклероз особенно распространен среди лиц пожилого возраста.

Соединения кремния активно участвуют в процессах роста волос и ногтей человека. Откладывающийся там кремний химически связывает поперечными мостиками макромолекулы кератина, повышая его устойчивость к действию жидкостей.

Одним их наиболее простых и наглядных диагностических признаков недостатка кремния в организме является ломкость ногтей.

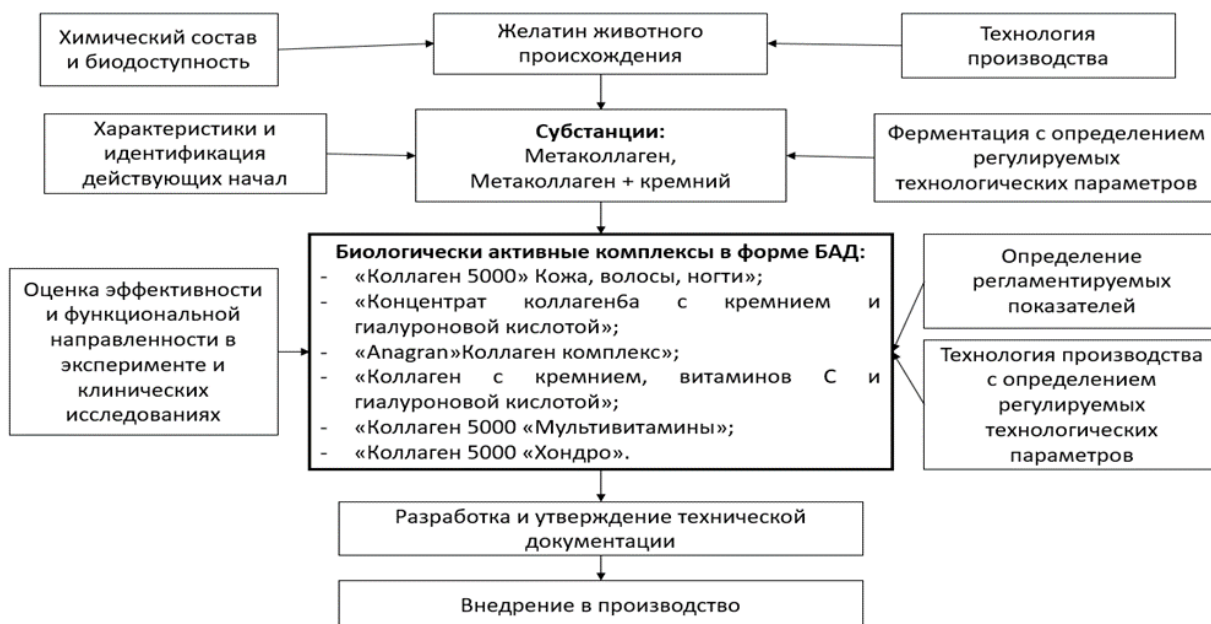
Поддержанию здоровья костной системы и соединительных тканей способствуют также магний, железо, медь, марганец, кремний, бор и ряд других микронутриентов: витамины В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub> (фолаты), В<sub>12</sub>, С, К, каротиноиды, флавоноиды, Омега-3, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК). Магний, марганец, медь, цинк и бор принято называть остеотропными минералами, которые способствуют синтезу коллагена и эластина.

В эксперименте на крысах линии Вистар показано, что кремний увеличивает скорость минерализации и кальцификации костей наряду с витамином D. Кроме того, метаболизм кремния и кальция тесно связан между собой. Так, например, процесс старения организма сопряжен с нарушением равновесия между этими элементами, а именно со снижением содержания кремния и повышением количества кальция в соединительных тканях. Введение кремния в рацион способствует сращиванию костной ткани. Для максимального усвоения кремния костной тканью необходим витамин К, который играет важную роль в минерализации костной ткани вследствие карбоксилирования остеокальцина. Именно его дефицит может повлиять на невключение кремния в костную ткань. Важно отметить регулирующее, персонализированное участие в этих процессах микробиома и генома [9–11].

В состав воды входит комплекс других жизненно важных минеральных веществ, которые, наряду с кремнием, определяют её лечебные свойства. Кремний и его многочисленные соединения играют важную роль в обмен-

ных реакциях организма и необходимой, в первую очередь, для нормального функционирования соединительной ткани.

Общий перечень ферментированных форм коллагена, разработанный компанией «АртЛайф» представлены на рис. 1.



*Рис. 1* Общий перечень ферментированных форм коллагена, разработанный компанией «АртЛайф»

Технология производства субстанции «Метаколлаген кремний +» разработана и внедрена на современном автоматизированном биотехнологическом производстве компании «АртЛайф», сертифицированном в рамках требований международных стандартов ИСО 22000 и GMP. Инновационность технологии заключается в использовании метода ферментативного гидролиза нативного коллагена, который отличается мягкостью условий регламентируемых параметров производства (температура, pH). Расщепление молекулы коллагена осуществляется с помощью биологического катализатора-фермента, полученного экологически чистым способом микробиологического синтеза.

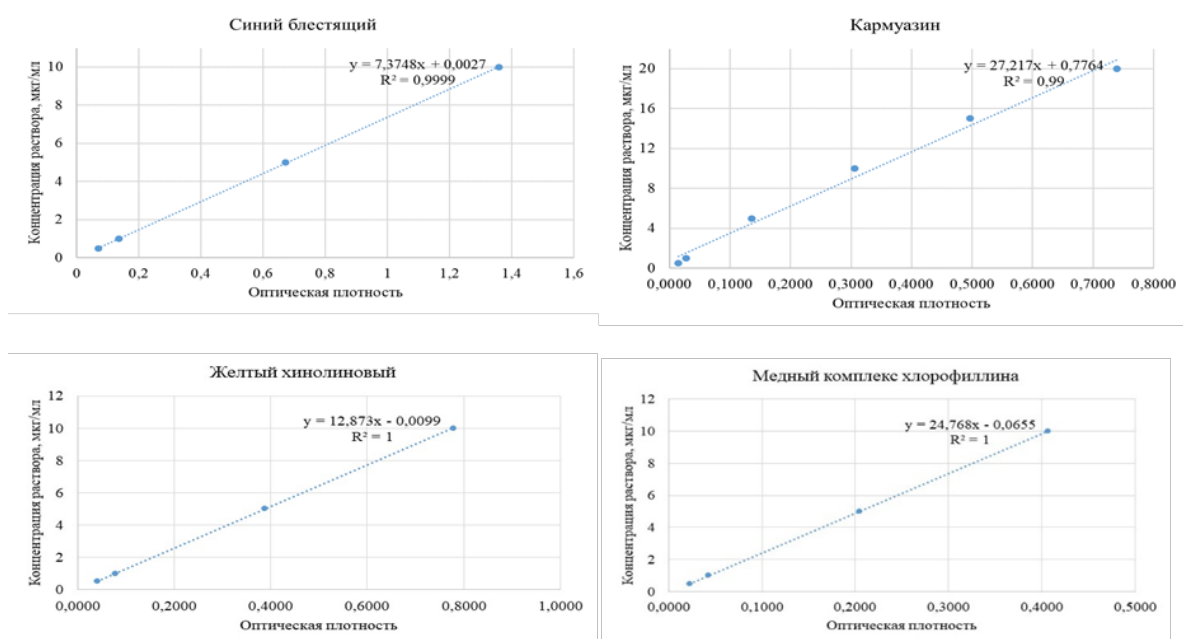
Разработанная субстанция и её промоутеры могут быть использованы в технологии производства специализированных продуктов и косметических средств для коррекции обменных нарушений соединительных тканей



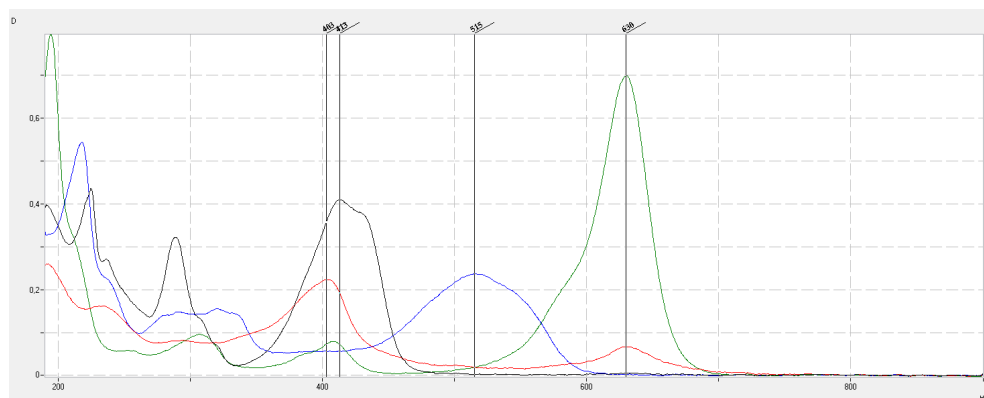
(эпителии, слизистые оболочки, хрящи и др.), улучшения состояния и внешнего вида кожи, волос и ногтей [12].

В работе рассмотрена возможность вторичного использования твердых желатиновых капсул в качестве сырьевых компонентов, что имеет важное экологическое и экономическое значение. С этой целью проведены исследования содержания синтетических красителей в ферментированных твердых желатиновых капсулах (ТЖК), которые являются потенциально вредными факторами для здоровья человека [5].

Результаты эксперимента представлены на рисунках 2 и 3.



*Рис. 2 Калибровочные кривые рабочих растворов красителей*



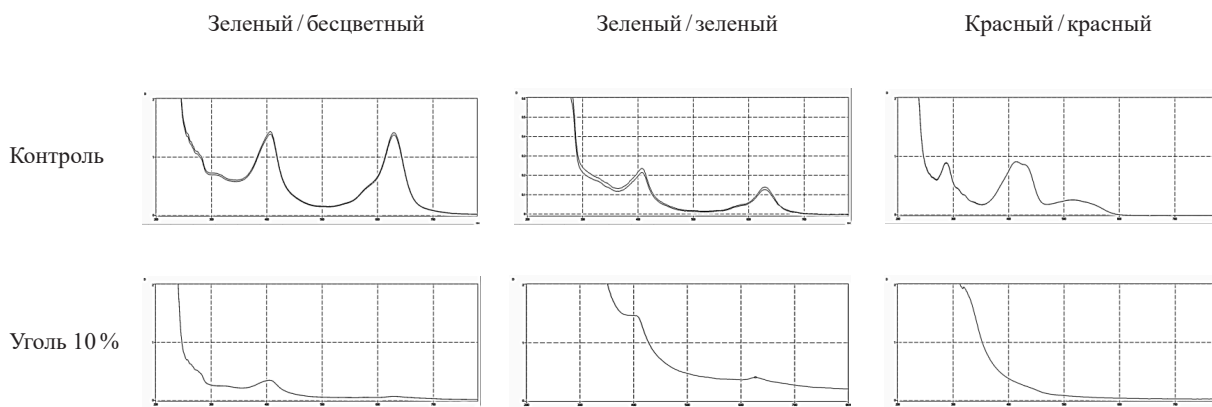
*Рис. 3 УФ-спектры растворов красителей*

Примечание: синий спектр — кармуазин ( $\lambda_{\max} = 515$  нм); зеленый спектр — синий блестящий ( $\lambda_{\max} = 630$  нм); красный спектр — медный комплекс хлорофиллина ( $\lambda_{\max} = 403$  нм); черный спектр — желтый хинолиновый ( $\lambda_{\max} = 413$  нм).

Результаты использования различных сорбентов представлены в таблице 2 и рисунке 4.

**Таблица 2** — Сравнительная таблица использования разных сорбентов (образец зеленый / бесцветный, разбавленный в 20 раз)

Сорбент	Содержание красителя в ферментированных ТЖК, мкг / мл			
	Медный комплекс хлорофиллина	Уменьшение концентрации по сравнению с контролем	Синий блестящий	Уменьшение концентрации по сравнению с контролем
Контроль	698,73		205,91	
Цеолит круп. 2 %	685,68	1,02 раз	202,12	1,02 раз
Цеолит круп. 10 %	652,52	1,07 раз	194,76	1,06 раз
Цеолит круп. 20 %	622,08	1,12 раз	185,24	1,11 раз
Цеолит мелк. 2 %	630,10	1,11 раз	187,54	1,10 раз
Цеолит мелк. 10 %	530,90	1,32 раз	171,31	1,20 раз
Цеолит мелк. 20 %	401,19	1,74 раз	159,25	1,29 раз
МКЦ 2 %	655,59	1,07 раз	194,45	1,06 раз
МКЦ 10 %	644,84	1,08 раз	194,24	1,06 раз
МКЦ 20 %	611,55	1,14 раз	185,25	1,11 раз
Уголь 2 %	367,68	1,90 раз	75,33	2,73 раз
Уголь 10 %	171,40	4,08 раз	10,78	19,10 раз
Уголь 20 %	102,64	6,81 раз	7,24	28,44 раз



*Рис. 4* УФ-спектры растворов исследуемых образцов

По данным, представленным в таблице 1 и на рисунке 3, лучшими сорбирующими свойствами обладает активированный уголь, уменьшая содержание медного комплекса хлорофиллина в 1,9–6,81 раза, синего блестящего 2,73–28,44 раза. Изучено содержание красителя в конечном продукте (табл. 3).

Согласно ТР ТС 0,29/2012 Приложение 11, концентрация красителей в БАД должна составлять не более 300 мг/кг сухого продукта. Исключение представляет медный комплекс хлорофиллина, для которого нет строго ограничения. Соответственно в 7 г продукта коллагена красителей не должно быть больше 2,1 мг. Очистка ферментированных ТЖК 10% и более активированным углем удовлетворяет данному требованию.

Сделан вывод, что для очистки ТЖК от красителей целесообразно использовать в качестве сорбента активированный уголь в концентрации 10%.

По результатам проведенных исследований можно заключить возможность использования новой формы биологически активного коллагена для поддержания здоровья соединительной ткани.

Инновационная биотехнология получения нового сырьевого ингредиента позиционируется как универсальная белковая субстанция для производства специализированных продуктов с заданными функциональными свойствами.

В качестве сырьевого источника желатина могут быть использованные твердые желатиновые капсулы при условии их очистки от синтетических красителей.

**Таблица 3 — Расчетное содержание красителя в конечном продукте с коллагеном**

Образец	Разбавление	Содержание красителя в ферментированных ТЖК, мкг / мл				Содержание в 7 гр коллагена, мг	
		Медный комплекс хлорофиллина	Уменьшение концентрации по сравнению с контролем	Синий блестящий	Уменьшение концентрации по сравнению с контролем	Медный комплекс хлорофиллина	Синий блестящий
<b>Зеленый / бесцветный</b>							
Контроль		698,73		205,91		24,46	7,21
Уголь 2 %	20 раз	367,68	1,90 раз	75,33	2,73 раз	12,87	2,64
Уголь 10 %		171,40	4,08 раз	10,78	19,10 раз		
Уголь 20 %		102,64	6,81 раз	7,24	28,44 раз		
<b>Зеленый / зеленый</b>							
Контроль	20 раз	109,95		19,61		3,85	0,69
Уголь 2 %	10 раз	38,13	2,88 раз	3,29	5,96 раз		
Уголь 10 %	—	—	—	3,04	6,45 раз		
Уголь 20 %	—	—	—	—	—		
<b>Красный / красный</b>							
Контроль	50 раз	583,65	Уменьшение концентрации по сравнению с контролем	Кармуазин	Уменьшение концентрации по сравнению с контролем	Желтый хинолиновый	Кармуазин
Уголь 2 %	20 раз	321,56	1,82 раз	123,58	3,12 раз	20,43	13,51
Уголь 10 %	—	—	—	—	—	11,25	4,33
Уголь 20 %	—	—	—	—	—		

**Выводы.** В результате исследований получена белковая субстанция на основе гидролизованного коллагена и минеральной воды с высоким содержанием кремния. Определен аминокислотный состав коллагена. Разработаны продукты специализированного назначения с использованием белковой субстанции из коллагена.

### Список литературы

1. *Shoulders, M. D. Raines, R. T.* Collagen structure and stability // *Annu. Rev. Biochem.* 2009, 78, 929–958.
2. *Lin, K. Zhang, D. Macedo, M. H. Cui, W. Sarmiento, B. Shen, G.* Advanced Collagen-Based Biomaterials for Regenerative Biomedicine // *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1804943.
3. *Ottani, V. Martini, D. Franchi, M. Ruggeri, A. Raspanti, M.* Hierarchical structures in fibrillar collagens // *Micron* 2002, 33, 587–596.
4. *Ferreira, A. M. Gentile, P. Chiono, V. Ciardelli, G.* Collagen for bone tissue regeneration // *ActaBiomater.* 2012, 8, 3191–3200
5. *O’leary, L. E. Fallas, J. A. Bakota, E. L. Kang, M. K. Hartgerink, J. D.* Multi-hierarchical self-assembly of a collagen mimetic peptide from triple helix to nanofibre and hydrogel // *Nat. Chem.* 2011, 3, 821.
6. *Lutolf, M. P. Gilbert, P. M. Blau, H. M.* Designing materials to direct stem-cell fate // *Nature* 2009, 462, 433–441.
7. *Yoo, T. K. Han, S.-H. Han, J.* Protective effects of biodegradable collagen implants on thinned sclera after strabismus surgery: A paired-eye study. *J. Am. Assoc. Pediatric Ophthalmol // Strabismus* 2017, 21, 467–471.
8. *Австриевских, А. Н.* Продукты здорового питания: новые технологии, обеспечение качества, эффективность применения: монография / А. Н. Австриевских, А. А. Вековцев, Н. Г. Челнакова, В. М. Позняковский; под. общ. ред. проф. В. М. Позняковского. Москва: ИНФРА-М, 2022. 414 с.
9. *Вековцев, А. А.* Микробиом и биохакинг: парадигма управления здоровьем / А. А. Вековцев, Е. М. Сербя, Б. Бямбаа, В. М. Позняковский // *Индустрия питания.* 2021. Т6, №2. С. 16–22.

10. *Вековцев, А. А.* Новые масштабные биотехнологические проекты в метаболической коррекции дисфункциональных состояний и синдромов дезадаптации / А. А. Вековцев, Д. Б. Никитюк, В. М. Позняковский // Актуальные проблемы хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: коллективная монография. СПб., изд-во «Лань», 2020. С. 18–26.

11. *Мокиенко, А. В.* Кремний в воде. Гигиенические и медико-биологические аспекты: Монография. – Одесса, Изд-во «Феникс». — 2020. — 260 с.

12. *Позняковский, В. М.* Безопасность продовольственных товаров (с основами нутрициологии): 2-е изд., испр. и доп. СПб : ГИОРД, 2020. 368 с.

**Вековцев А. А.** — кандидат технических наук, заместитель генерального директора компании «Арт Лайф» по науке и производству, г. Томск. E-mail:andrey@artliv.ru.

**Куркина Ю. Ю.** — магистрант Кузбасского государственного аграрного университета, г. Кемерово. E-mail:opdor@ksai.ru.

**Позняковский В. М.** — доктор биологических наук, Заслуженный деятель науки РФ, руководитель научно образовательного центра «Прикладная биотехнология и нутрициология», профессор кафедры «Гигиена» Кемеровского государственного медицинского университета, г. Кемерово. E-mail:pvm1947@bk.ru.

### Список литературы

1. *Shoulders, M. D. Raines, R. T.* Collagen structure and stability // Annu. Rev. Biochem. 2009, 78, 929–958.

2. *Lin, K. Zhang, D. Macedo, M. H. Cui, W. Sarmiento, B. Shen, G.* Advanced Collagen-Based Biomaterials for Regenerative Biomedicine // Adv. Funct. Mater. 2019, 29, 1804943.

3. *Ottani, V. Martini, D. Franchi, M. Ruggeri, A. Raspanti, M.* Hierarchical structures in fibrillar collagens // Micron 2002, 33, 587–596.

4. *Ferreira, A. M. Gentile, P. Chiono, V. Ciardelli, G.* Collagen for bone tissue regeneration // *ActaBiomater.* 2012, 8, 3191–3200
5. *O'leary, L. E. Fallas, J. A. Bakota, E. L. Kang, M. K. Hartgerink, J. D.* Multi-hierarchical self-assembly of a collagen mimetic peptide from triple helix to nanofibre and hydrogel // *Nat. Chem.* 2011, 3, 821.
6. *Lutolf, M. P. Gilbert, P. M. Blau, H. M.* Designing materials to direct stem-cell fate // *Nature* 2009, 462, 433–441.
7. *Yoo, T. K. Han, S.-H. Han, J.* Protective effects of biodegradable collagen implants on thinned sclera after strabismus surgery: A paired-eye study. *J. Am. Assoc. Pediatric Ophthalmol // Strabismus* 2017, 21, 467–471.
8. *Austrievskikh, A. N.* Healthy food products: new technologies, quality assurance, effectiveness of application: monograph / A. N. Austrievskikh, A. A. Vekovtsev, N. G. Chelnakova, V. M. Poznyakovsky; under the general editorship of Prof. V. M. Poznyakovsky. Moscow: INFRA-M, 2022. 414 p.
9. *Vekovtsev, A. A.* Microbiome and biohacking: a paradigm of health management / A. A. Vekovtsev, E. M. Serba, B. Byambaa, V. M. Poznyakovsky // *Food industry.* 2021. T 6, No. 2. pp. 16–22.
10. *Vekovtsev, A. A.* New large-scale biotechnological projects in the metabolic correction of dysfunctional states and maladaptation syndromes / A. A. Vekovtsev, D. B. Nikityuk, V. M. Poznyakovsky // *Actual problems of storage and processing of agricultural raw materials: a collective monograph.* St. Petersburg., publishing house "Lan", 2020. pp. 18–26.
11. *Mokienko, A. V.* Silicon in water. Hygienic and biomedical aspects: A monograph. – Odessa, Phoenix Publishing House. — 2020. — 260 p.
12. *Poznyakovsky, V. M.* Food safety (with the basics of nutritionology): 2nd ed., ispr. and add. St. Petersburg : GIORD, 2020. 368 p.

**Vekovtsev A.A.** — Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director of the Art Life Company for Science and Production, Tomsk. E-mail: andrey@artliv.ru.

**Kurkina Yu.Yu.** — undergraduate student of Kuzbass State Agrarian University, Kemerovo. E-mail: opdop@ksai.ru.

**Poznyakovsky V.M.** — Doctor of Biological Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Scientific and Educational Center “Applied Biotechnology and Nutritionology”, Professor of the Department of Hygiene of Kemerovo State Medical University, Kemerovo. E-mail: [pvm1947@bk.ru](mailto:pvm1947@bk.ru).