

М. А. Капустин [M. Al. Kapustin]<sup>1, 2</sup>  
А. С. Чубарова [A. S. Chubarova]<sup>1</sup>  
С. В. Лодыгина [S. V. Lodygina]<sup>2</sup>  
А. Д. Лодыгин [A. D. Lodygin]<sup>2</sup>  
И. А. Евдокимов [I. Al. Evdokimov]<sup>2</sup>  
А. В. Янцевич [Al. V. Yancevich]<sup>3</sup>  
В. П. Курченко [Vl. P. Kurchenko]<sup>1, 2</sup>

УДК 615.322  
DOI: 10.37493/2307-910X.2022.2.7

## КУРКУМИНОИДЫ: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ СООБЩЕНИЕ 1. ПОЛУЧЕНИЕ КУРКУМИНОИДОВ И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

## CURCUMINOIDS: RECOVERY, PROPERTIES AND APPLICATION REPORT 1. RECOVERY OF CURCUMINOIDS AND THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет /Belorussian State University

<sup>2</sup> Северо-Кавказский федеральный университет/ North Caucasus Federal University

<sup>3</sup> Институт биоорганической химии НАН Беларуси/ Institute of Bioorganic Chemistry NAS of Belarus  
e-mail: [hramcov2018@inbox.ru](mailto:hramcov2018@inbox.ru)

Разработана ВЭЖХ методика качественного и количественного определения куркуминоидов (куркумина, деметоксикуркумина, бис-деметоксикуркумина). Описана процедура извлечения суммарного препарата куркуминоидов из растительного материала (*Curcuma longa* L.) с использованием различных экстрагентов. Приведены условия препаративного выделения индивидуальных куркуминоидов. Изучены физико-химические свойства полученных соединений. Разработана принципиальная технологическая схема получения куркуминоидов из растительного сырья.

**Ключевые слова:** куркуминоиды, куркумин, деметоксикуркумин, бис-деметоксикуркумин, препаративное выделение, хроматография, масс-спектропия.

*HPLC method of curcuminoids (curcumin, demetoxycurcumin, bis-demetoxycurcumin) qualitative and quantitative analysis is developed. The protocol of curcuminoids additive preparation recovery from vegetative raw material (*Curcuma longa* L.) by different extractants is described. Conditions of individual curcuminoids preparative isolation are presented. Physical and chemical properties of derived substances are studied. Basic block diagram of curcuminoids manufacturing from vegetative raw material is developed.*

**Key words:** curcuminoids, curcumin, demetoxycurcumin, bis-demetoxycurcumin, preparative isolation, chromatography, mass-spectroscopy.

### **Введение / Introduction.**

Среди пряно-ароматических растений широко используется корневища куркумы *Curcuma longa* L. Они служат источником получения куркуминоидов, которые широко используются в фармацевтике и пищевой промышленности. Куркуминоиды обладают различной биологической активностью: гипохолестеринемической, антидиабетической, противовоспалительной, антиоксидантной, гепатопротекторной, ранозаживляющей и пр. [1–6]. Благодаря этому они используются при разработке функциональных продуктов питания. В последние годы ведутся интенсивные исследования биодоступности, безопасности и эффективности препаратов куркуминоидов, которые используются в комплексной терапии или как самостоятельное лекарственное средство при лечении различных заболеваний человека [7–10].

С использованием экстракции органическими растворителями из корневищ *Curcuma*

*longa* Linn получают препарат куркумина [11]. Основным компонентом входящим в его состав является куркумин, который по химической структуре представляет собой бис- $\alpha,\beta$ -ненасыщенный  $\beta$ -дикетон. Кроме куркумина, в состав препарата входят деметоксикуркумин и бис-деметоксикуркумин в различных процентных соотношениях [1, 2, 11]. Для проведения углубленных исследований физико-химических свойств и биологической активности этих куркуминоидов актуальным является разработка эффективной методики их выделения из растительного сырья, а также методов анализа полученных субстанций.

Целью работы являлась разработка методики ВЭЖХ анализа и идентификации куркуминоидов, оптимизация технологии получения суммарного препарата куркуминоидов и индивидуальных соединений, исследование их физико-химических свойств.

#### **Материалы и методы / Materials and methods.**

Объектами исследования являлись корневище куркумы (*Curcuma longa* L.) и куркуминоиды.

#### **Получение экстрактов из корневища куркумы**

Высушенные корневища куркумы измельчали до размера частиц 0,1–0,2 мм. Куркуминоиды экстрагировали 96% этанолом в аппарате Сокслета при соотношении сырье : экстрагент 1:20 в течение 6 часов. С использованием роторного испарителя из экстракта отгоняли этанол. Из полученного концентрата куркуминоидов удаляли липидную фракцию экстракцией гексаном при соотношении сырье:экстрагент 1:10. Препарат куркуминоидов высушивали при +50 °С в вакуумном термостате и хранили при +4 °С

#### **Методика ВЭЖХ анализа куркуминоидов**

Анализ состава куркуминоидов в полученном препарате проводился с использованием хроматографической системы Agilent 1100/1200, оборудованной диодно-матричным детектором, на обратно-фазной колонке Zorbax SB-C18 (3.5 мкм, 4.6x250 мм). Состав подвижной фазы: вода:ацетонитрил (54:46), содержащей 0,01% (об/об) уксусной кислоты.

Идентификация индивидуальных куркуминоидов: куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина проводилась на ультра-ВЭЖХ хроматографе Agilent 6200/6500 с масс-селективным детектором Q-TOF LC/MS (США) на обратно-фазной колонке Hypersil Gold C18 (1.8 мкм, 2.4x100 мм) (Thermo Scientific). В качестве подвижной фазы использовали смесь ацетонитрил:5% муравьиная кислота при соотношении 98:2. Время анализа составляло 11 минут. Объем пробы – 0,1 мкл. Скорость потока – 0,3 мл/мин. Масс спектры анализировали с использованием базы данных NIST 10 (National Institute of Standards and Technology)

#### **Разделение куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина методом препаративной хроматографии**

Препаративное разделение куркуминоидов проводили методом колоночной хроматографии. В качестве неподвижной фазы для разделения использовали силикагель Silica gel 60, Fluka, с зернистостью частиц 0,063–0,2 мм. Рабочий объем колонки составил 170 мл при соотношении ширина:длина 3:16. Соотношение разделяемого образца и сорбента – 1:100. В качестве подвижной фазы использовали смесь хлороформа и метанола с объемной долей метанола 1 %. Разделение проводилось в изократическом режиме. Скорость подвижной фазы составляла 5 мл/мин. Объем отбираемых фракций составлял 10 мл. Для построения хроматографического профиля проводили измерение оптической плотности отбираемых фракций на длине волны 425 нм.

#### **Результаты и обсуждение / Results and discussion.**

Важной задачей для получения куркуминоидов является разработка методик их идентификации и количественного определения, необходимых для входного контроля содержания куркуминоидов в исходном растительном сырье, а также для идентификации и определения чистоты полученных препаратов.

#### **Методика качественного и количественного анализа куркуминоидов**

Для исследования куркуминоидов разработана методика ВЭЖХ анализа, позволяю-

щая идентифицировать куркумин, деметоксикуркумин, бисдеметоксикуркумин и определять их содержание в растительном сырье и экстрактах. Предлагаемая методика основана на различиях времени удержания куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина в предложенной хроматографической системе. Определение куркуминоидов проводили с использованием диодно-матричного детектора на длине волны, соответствующей максимумам поглощения для каждого из определяемых соединений. На рисунке 1 приведены ВЭЖХ хроматограммы смеси спиртовых растворов стандартов куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина в диапазоне концентраций 0,01 – 1 мг/л. Результаты хроматографического анализа куркуминоидов свидетельствуют об их значительных различиях во времени удержания и эффективном разделении в предложенной системе.

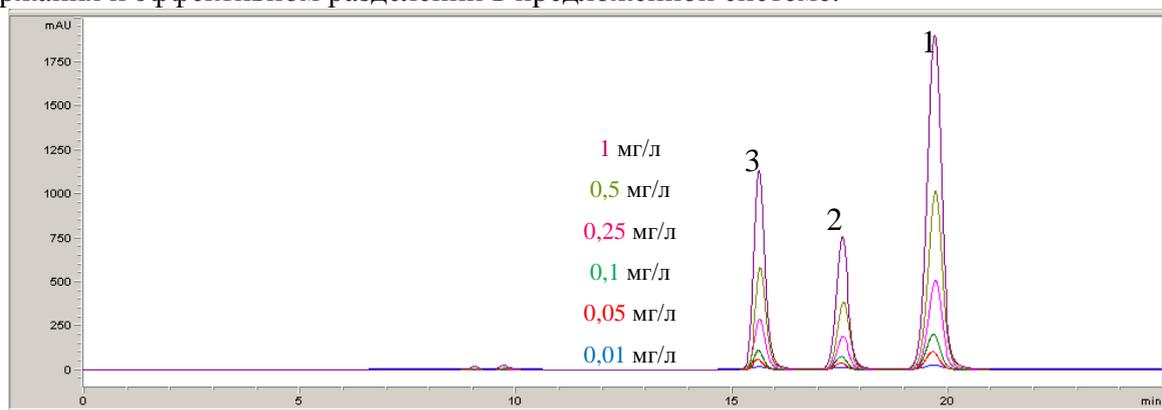


Рисунок 1. ВЭЖХ-хроматограмма смеси стандартов куркуминоидов (Sigma-Aldrich): куркумина (1), деметоксикуркумина (2), бисдеметоксикуркумина (3) / Fig. 1. HPLC chromatogram of a mixture of curcuminoids standards (Sigma - Aldrich) : curcumin (1), demethoxycurcumin (2), bisdemethoxycurcumin (3)

На основании полученных данных для индивидуальных куркуминоидов построены калибровочные графики (рисунок 2), которые позволяют проводить количественную оценку содержания этих биологически активных веществ в растительном сырье, препаратах диарилгептаноидов и куркуминоид-содержащей продукции.

Построенные для индивидуальных куркуминоидов калибровочные графики использовались для расчетов их содержания при оптимизации технологии получения диарилгептаноидов из корневища куркумы. Ключевыми показателями эффективности хроматографической системы являются величины значений селективности и эффективности разделения конкретных анализируемых соединений. Анализ валидности разработанной ВЭЖХ методики приведен в таблице 1.

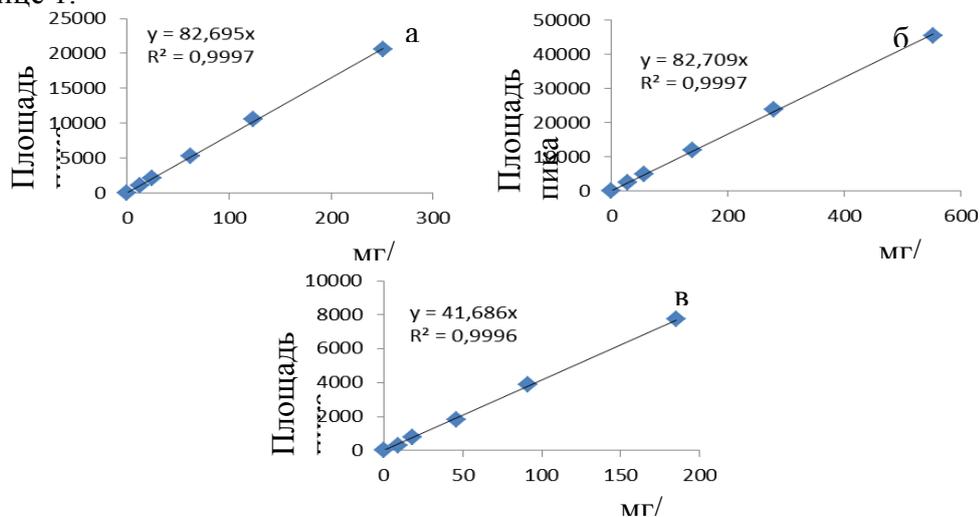


Рисунок 2. Калибровочные кривые, построенные для бисдеметоксикуркумина (а), деметоксикуркумина (б) и куркумина (в) методом ВЭЖХ/ Fig. 2. Calibration curves built for bisdemethoxycurcumin (a), demethoxycurcumin (b) and curcumin (c) by HPLC

Таблица 1 – Характеристика разработанной ВЭЖХ системы для определения куркуминоидов/ Table 1 - Characteristics of the developed HPLC system for the determination of curcuminoids

Пара пиков	Время удерживания (tR1/tR2)	Селективность разделения ( $\alpha$ ) *	Степень разделения (Rs) **
бисдеметоксикуркумин/ деметоксикуркумин	16,644/18,686	0,891	6,307
деметоксикуркумин/куркумин	18,686/20,959	0,892	6,086

**Примечание:** \*система обладает селективностью, если величина  $\alpha < 1$ ; \*\*пики считаются разрешенными, если величина RS  $\geq 1.5$

Результаты ВЭЖХ анализа, представленные в таблице 1, показали, что данная методика позволяет проводить оптимальное разделение куркуминоидов с высокой селективностью и разрешением.

**Оптимизация технологии получения препаратов куркуминоидов из корневища куркумы (*Curcuma longa* L.)** Технология выделения куркуминоидов из корневищ куркумы основана на различиях их растворимости в полярных и неполярных растворителях [12]. В связи с этим проведено исследование эффективности экстракции куркуминоидов из растительного сырья различными органическими растворителями. С использованием ацетона, этилового спирта 96%, метанола, гексана, хлороформа были получены экстракты из корневища куркумы. В полученных экстрактах методом ВЭЖХ определен состав и содержание куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина [12, 13].

Показано, что использование различных экстрагентов позволяет получать из растительного сырья куркуминоиды с различным выходом. В таблице 2 приведено содержание индивидуальных куркуминоидов в полученных экстрактах. Эффективность экстракции снижается в ряду являются метанол, ацетон, этанол, хлороформ, гексан. При использовании в качестве экстрагента гексана в экстракт переходят следовые количества куркуминоидов. Полученные данные свидетельствуют о том, что куркуминоиды хорошо растворяются в полярных растворителях [12, 13].

Таблица 2 – Содержание куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина в экстрактах, полученных с использованием различных органических растворителей/ Table 2 - The content of curcumin, demethoxycurcumin and bis-demethoxycurcumin in extracts obtained using various organic solvents

Экстрагент	бисдеметоксикуркумин, мг/л	деметоксикуркумин, мг/л	Куркумин, мг/л	Сумма куркуминоидов, мг/л
метанол	517,8 $\pm$ 12,0	1136,6 $\pm$ 26,3	1535,6 $\pm$ 34,4	3190,0 $\pm$ 72,7
ацетон	463,9 $\pm$ 1,8	1061,3 $\pm$ 4,9	1467,2 $\pm$ 5,3	2992,5 $\pm$ 11,9
96% этанол	448,8 $\pm$ 9,3	1006,9 $\pm$ 19,2	1376,6 $\pm$ 26,0	2832,3 $\pm$ 54,6
хлороформ	360,4 $\pm$ 3,2	947,0 $\pm$ 1,5	1354,0 $\pm$ 2,0	2661,9 $\pm$ 2,7
гексан	0,218 $\pm$ 0,012	3,4 $\pm$ 0,03	2,4 $\pm$ 0,01	6,0 $\pm$ 0,03

Различия в содержании суммы куркуминоидов между метанольным и ацетоновым экстрактами составляют 6,2 %, между ацетоновым и этанольным экстрактами – 5,7 %, а между этанольным и хлороформным экстрактами – 6%. Следует отметить, что в полученных экстрактах содержание куркумина варьирует от 51 % до 40 % в зависимости от использованного экстрагента. Доля деметоксикуркумина в экстрактах, полученных с использованием метанола, ацетона, этанола, хлороформа и гексана составила 35,6; 35,5; 35,6; 35,6; 56,7 % соответственно. Содержание бисдеметоксикуркумина в экстрактах, полученных с использованием метанола, ацетона, этанола, хлороформа и гексана составило 16,2; 15,5; 15,9; 13,5; 3,6 % соответственно.

Результаты проведенных исследований показали, что использование различных полярных растворителей не оказывает существенного влияния на состав и соотношение куркуминоидов в полученных экстрактах. При разработке технологии получения куркуминоидов

из корневища куркумы оптимальным представляется использование этанола в качестве экстрагента, который рекомендован фармакопеями различных стран для экстракции биологически активных веществ из растельного сырья [14]. По результатам ВЭЖХ анализа чистота полученного суммарного препарата куркуминоидов составляет не менее 98 %.

#### Получение куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина и их физико-химические свойства

Анализ содержания индивидуальных куркуминоидов в экстракте, полученном с использованием этилового спирта (таблица 2) показал, что в нем содержится куркумина 48,6 %, деметоксикуркумина – 35,55 %, бисдеметоксикуркумина – 15,85 %, при чистоте препарата 98 %. Высокое содержание индивидуальных куркуминоидов позволяет использовать метод колоночной хроматографии для их препаративного разделения. Проведенные исследования хроматографической подвижности куркуминоидов методом ТСХ с использованием различных систем разделения [12] позволили разработать методику их препаративного получения методом колоночной хроматографии. На рисунке 3 представлен хроматографический профиль разделения суммарного препарата куркуминоидов.

Состав полученных фракций анализировали методом ТСХ. Визуализация хроматограмм не требовала обработки проявителями, поскольку разделяемые соединения окрашены. Полученные хроматограммы приведены на рисунке 3 б.

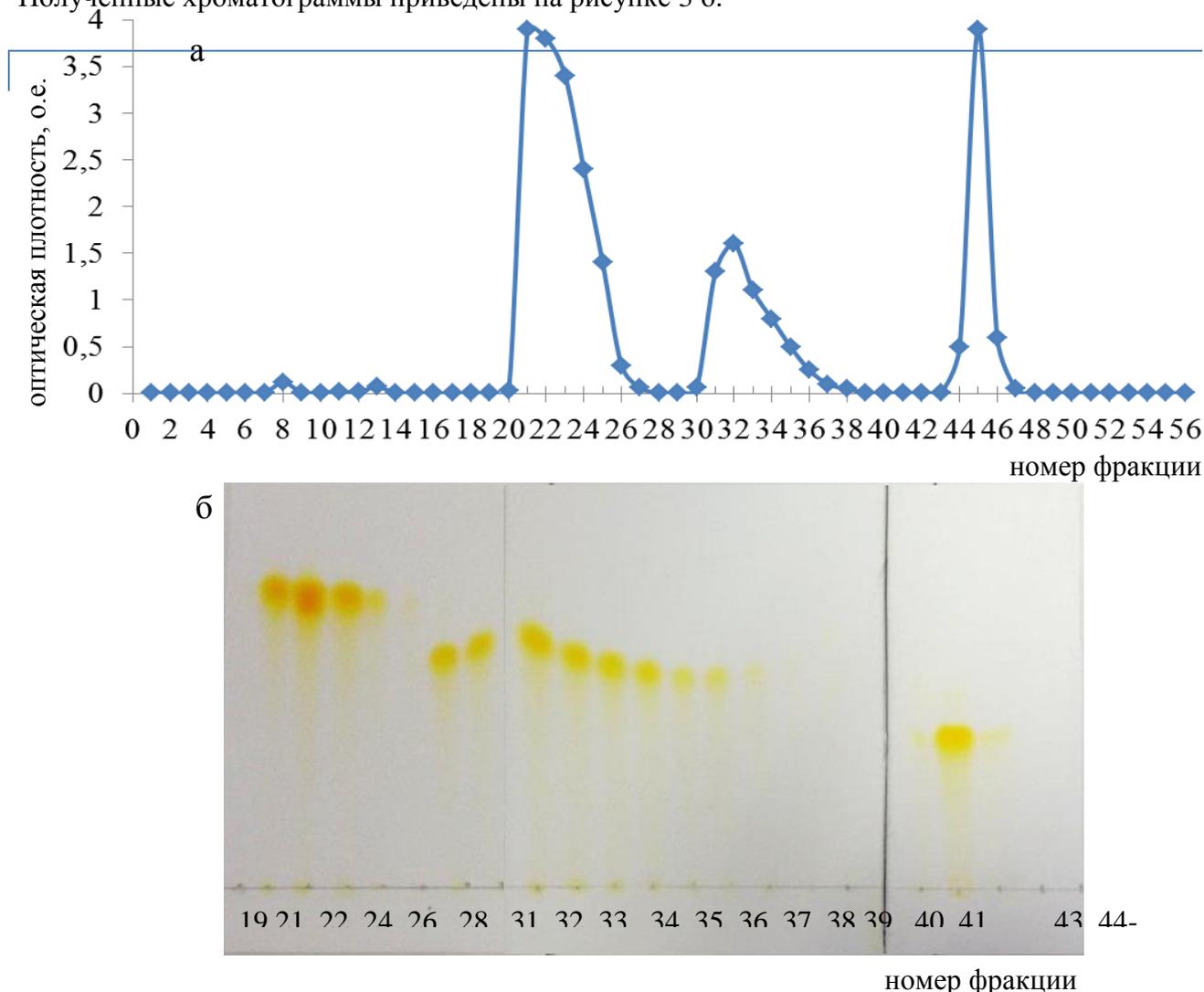


Рисунок 3. Хроматографический профиль ( $\lambda=425$  нм) препаративного разделения диарилгептаноидов методом колоночной хроматографии (а) и ТСХ отобранных фракций (б)/ Fig. 3. Chromatographic profile ( $\lambda=425$  nm) of preparative separation of diarylheptanoids by column chromatography (a) and TLC of selected fractions (b)

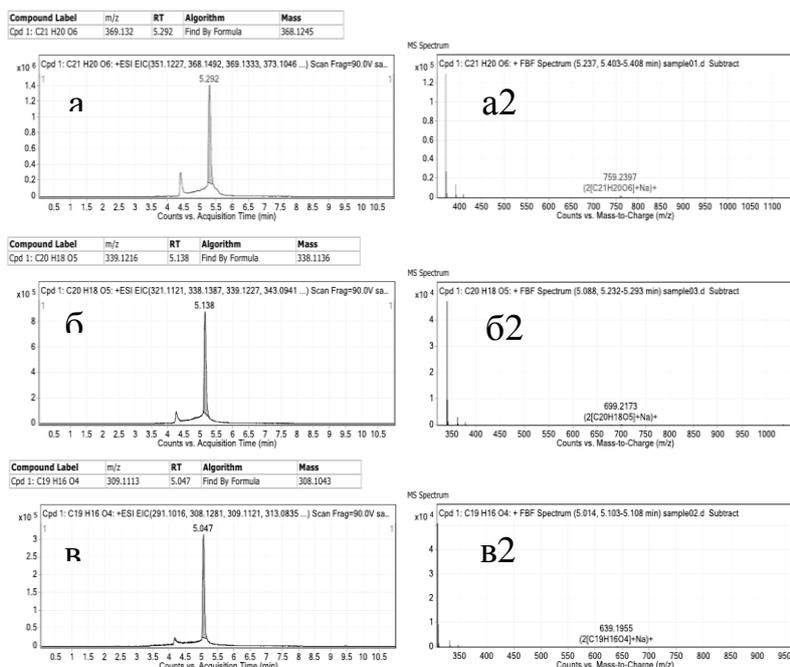
Показано, что эффективное разделение куркуминоидов наблюдается при использовании в качестве подвижной фазы смеси хлороформ:метанол 99:1. При таких условиях происходит полное разрешение пиков индивидуальных соединений, что необходимо для получения высокоочищенных препаратов куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина.

При препаративном разделении 1 г суммарного препарата диарилгептаноидов было получено 530 мг куркумина, 165 мг деметоксикуркумина и 240 мг бисдеметоксикуркумина. Идентификацию и определение чистоты полученных препаратов проводили с использованием ВЭЖХ с диодно-матричным детектором и ВЭЖХ с масс-селективным детектором.

По данным ВЭЖХ анализа выделенные куркуминоиды различаются временем удержания, которое составляет для куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина 20,96 мин, 18,69 мин и 16,64 мин соответственно. Время удержания для индивидуальных диарилгептаноидов различается в данной хроматографической системе и является их идентификационной физико-химической характеристикой.

Аутентичность полученных соединений была подтверждена спектральными характеристиками индивидуальных веществ, полученных в процессе ВЭЖХ анализа. Анализ спектральных свойств индивидуальных соединений показал, что для отдельных веществ характерно наличие в спектре нескольких пиков поглощения в диапазоне длин волн 200–280 нм и 300–500 нм. Максимумы поглощения составили для бисдеметоксикуркумина – 245 нм и 419 нм, деметоксикуркумина – 250 нм и 422 нм, куркумина – 230 нм, 265 нм и 427 нм, что согласуется с данными приведенными в литературе [15–17].

Важной физико-химической характеристикой полученных соединений является молекулярная масса. Ее определение проводилось на ультра-ВЭЖХ хроматографе Agilent 6200/6500 с масс-селективным детектором Q-TOF LC/MS. По данным масс-спектроскопии, основной ион, образующийся при ионизации молекул в образце куркумина (рисунок 4, а2), – ион типа  $(M+H)^+$  с отношением массы к заряду ( $m/z$ ) равным 369,132, что характерно для молекулы с массой 368,1245 и брутто-формулой  $C_{21}H_{20}O_6$ , которые совпадают с таковыми для куркумина, приведенным в базе данных NIST.



**Рисунок 4. ВЭЖХ-профили куркумина (а1), деметоксикуркумина (б1), бисдеметоксикуркумина (в1) и масс-спектры куркумина (а2), деметоксикуркумина (б2), бисдеметоксикуркумина (в2)/ Fig.4.HPLC profiles of curcumin (a1), demethoxycurcumin (b1), bisdemethoxycurcumin (c1) and mass spectra of curcumin (a2), demethoxycurcumin (b2), bisdemethoxycurcumin (c2)**

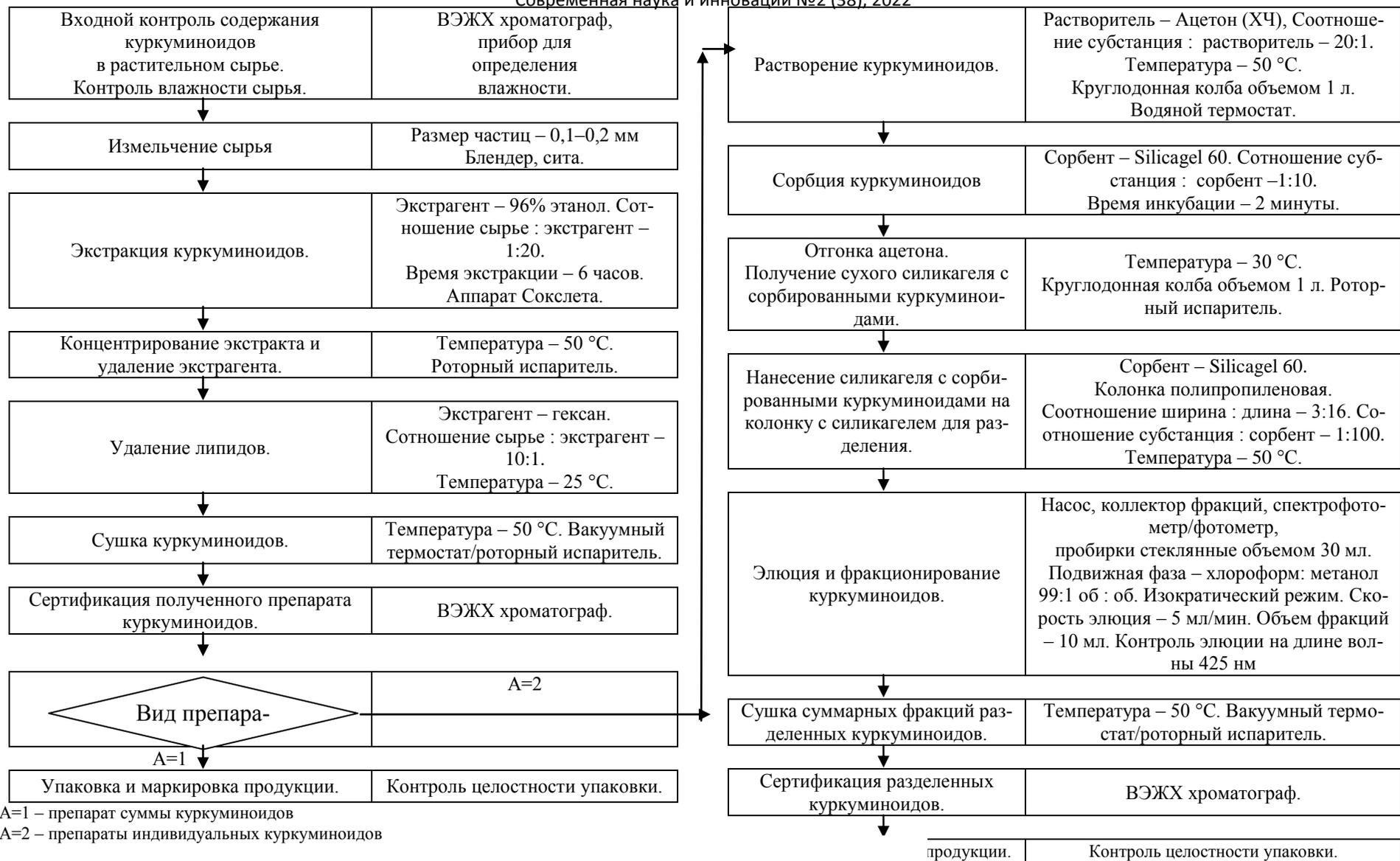
При ионизации вещества в образце деметоксикуркумина (рисунок 4, б2) образуется основной ион типа  $(M+H)^+$  с отношение массы к заряду ( $m/z$ ) равным 339,1216, что характерно для молекулы с массой 338,1136 и брутто-формулой  $C_{20}H_{18}O_5$ , которые соответствуют деметоксикуркумину по базе данных NIST. При ионизации молекул в образце бисдеметоксикуркумина (рисунок 4, в2) образуется основной ион типа  $(M+H)^+$  с отношение массы к заряду ( $m/z$ ) равным 309,1113, что характерно для молекулы с массой 308,1043 и брутто-формулой  $C_{19}H_{16}O_4$ , которые соответствуют бисдеметоксикуркумину, по данным, приведенным в базе данных NIST.

Таким образом, хроматографические, спектральные свойства и данные масс-спектропии позволили идентифицировать, выделенные индивидуальные соединения как куркумин (cas), деметоксикуркумин (cas) и бисдеметоксикуркумин (cas). Чистота полученных препаратов подтверждена методом ВЭЖХ и составляет для куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина – 99,8; 99,5 и 96 % соответственно.

Технология получения препарата диарилгептаноидов и индивидуальных соединений: куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина

На основании полученных результатов была разработана технология получения суммарного препарата диарилгептаноидов и индивидуальных соединений: куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина из корневища *Curcuma longa L.* (рисунок 5).

Разработанная технология подразумевает включение в схему ряда контрольно-аналитических точек, позволяющих оценивать процесс и полноту экстракции, ход хроматографического разделения, выход и состав выделяемых субстанций. При извлечении куркуминоидов из растительного сырья в качестве экстрагента используется органический растворитель – спирт этиловый, разрешенный к применению в пищевом производстве. Предлагаемая схема выделения предусматривает минимизацию числа технологических операций и проведение этапов концентрации и сушки продукта при температурах, минимизирующих окисление и деструкцию целевых продуктов. Для хроматографического разделения разработан оригинальный и эффективный метод flash-хроматографии. В качестве стационарной фазы в технологической схеме заложен недорогой, химически стабильный хроматографический сорбент Silica gel 60, пригодный к многократной регенерации, что обеспечивает его использование в большом числе технологических циклов. Разработанный метод обеспечивает эффективное препаративное разделение куркуминоидов за счет «сухого» нанесения препарата на хроматографическую колонку с последующей элюцией куркуминоидов с использованием оптимизированной по составу подвижной фазы. Такой технологический прием значительно сокращает время разделения, поскольку исключается ряд операций по промывке и уравниванию хроматографической системы, а также позволяет уменьшить объем стационарной фазы и повышает эффективность разделения.



A=1 – препарат суммы куркуминоидов  
A=2 – препараты индивидуальных куркуминоидов

Рисунок 5 – Технологическая схема получения препаратов куркуминоидов/ Fig. 5 – Technological scheme for obtaining curcuminoid preparations

**Заключение / Conclusion.**

Проведенное исследование позволило разработать методику ВЭЖХ определения и идентификации куркумина, деметоксикуркумина, бис-деметоксикуркумина в растительном сырье. Разработана технология выделения куркуминоидов из корневищ куркумы, основанная на различиях их растворимости в полярных и неполярных растворителях. Показано, что эффективность экстракции куркуминоидов из растительного сырья убывает в ряду метанол, ацетон, этанол, хлороформ, гексан. Полученные данные свидетельствуют о том, что куркуминоиды хорошо растворяются в полярных растворителях.

В результате использования разработанного метода препаративного разделения из 1 г суммарного препарата диарилгептаноидов выход куркумина составил 530 мг (53 %), деметоксикуркумина – 165 мг (16,5 %) и бисдеметоксикуркумина – 240 мг (24 %). Потери в ходе хроматографического разделения достигали 6,5 %. Чистота полученных препаратов была подтверждена методом ВЭЖХ и составила для куркумина, деметоксикуркумина и бисдеметоксикуркумина – 99,8; 99,5 и 96 % соответственно.

Анализ физико-химических свойств полученных препаратов показал, что выделенные куркуминоиды в ВЭЖХ анализе различаются временем удержания, которое составляет для куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина 20,96 мин, 18,69 мин и 16,64 мин соответственно. Анализ спектральных свойств индивидуальных соединений показал, что максимумы поглощения для бисдеметоксикуркумина составили 245 нм и 419 нм, деметоксикуркумина – 250 нм и 422 нм и куркумина – 230 нм, 265 нм и 427 нм. По данным масс-спектропии значение молекулярных масс и брутто формула выделенных соединений составляет для куркумина 368,1245 ( $C_{21}H_{20}O_6$ ), для деметоксикуркумина 338,1136 ( $C_{20}H_{18}O_5$ ) и для бис-деметоксикуркумина 308,1043 ( $C_{19}H_{16}O_4$ ) что соответствует значениям, приведенным в базе данных NIST.

Использование полученных результатов дало возможность разработать оригинальную технологию получения из растительного сырья очищенных куркумина, деметоксикуркумина и бис-деметоксикуркумина.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Kotha, R.R. Curcumin: Biological, Pharmaceutical, Nutraceutical, and Analytical Aspects / R.R. Kotha, D.L. Luthria // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24, № 16. – P. 2930–2956.
2. Amalraj, A. Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review / A. Amalraj, A. Pius, S. Gopi // *J. of Tradit. and Complem. Medicine*. – 2017. – Vol 7, № 2. – P. 205–233.
3. Fadus, M.C. Curcumin: An age-old anti-inflammatory and anti-neoplastic agent / M.C. Fadus, C. Lau, J. Bikhchandani // *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. – 2017. – Vol. 7, № 3. – P. 339–346.
4. Zielinska, A. Properties, Extraction Methods, and Delivery Systems for Curcumin as a Natural Source of Beneficial Health Effects / A Zielinska [et al.] // *Medicina (Kaunas)*. – 2020. – Vol. 56, № 7. – P. 336–354.
5. Khan, H. Mechanistic insights of hepatoprotective effects of curcumin: Therapeutic updates and future prospects / H. Khan, H. Ullah, S.M. Nabavi // *Food Chem. Toxicol.* – 2019. – Vol. 124. – P. 182–191.
6. Barchitta, M. Nutrition and Wound Healing: An Overview Focusing on the Beneficial Effects of Curcumin / M. Barchitta [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019. – Vol. 20. – P. 1119–1132.
7. Rathore, S. Curcumin: A Review for Health Benefits / S. Rathore [et al.] // *Int. J. Res. Rev.* – 2020. – Vol. 7. – P. 273–290.
8. Souto, E.B. New Nanotechnologies for the Treatment and Repair of Skin Burns Infections / E.B. Souto [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2020. – Vol. 21. – P. 393–410.

9. Sahne, F. Enzyme-assisted ionic liquid extraction of bioactive compound from turmeric (*Curcuma longa* L.): Isolation, purification and analysis of curcumin. / F. Sahne, M. Mohammadi, G.D. Najafpour // *Ind. Crop. Prod.* – 2017. – Vol. 95. – P. 686–694.
10. Batra, H. Curcumin in combination with anti-cancer drugs: A nanomedicine review / H. Batra, S. Pawar, D. Bahl // *Pharmacol. Res.* – 2019. – Vol. 139. – P. 91–105.
11. Patil, S. Extraction of curcuminoids from *Curcuma longa*: comparative study between batch extraction and novel three phase partitioning / S.S. Patil, S. Bhasarkar, V.K. Rathod // *Prep. Biochem. Biotechnol.* – 2019. – Vol. 49, № 4. – P. 407–418.
12. Капустин, М.А. Выделение куркуминоидов из корневища *Curcuma longa* L и исследование состава полученного препарата с использованием хроматографических методов анализа / М.А. Капустин, А.С. Чубарова, В.П. Курченко // *Труды Белорусского государственного университета. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем.* – 2016. – Т. 11, ч.2. – С. 248–262.
13. Капустин, М.А. Оценка качества препаратов на основе куркуминоидов и их комплексов с циклодекстринами методом ВЭЖХ/ М.А. Капустин, А.С. Чубарова, В.П. Курченко // *Белорусские лекарства: сб. материалов Междунар. науч. конф., г. Минск, 17–18 ноября 2016 г.* – Минск, 2016. – С. 86–91.
14. Макарова, В.Д., Разработка метода идентификации сырья куркумы в составе лекарственных препаратов, биологически активных добавок и пищевых продуктов / В.Д. Макарова, О.В. Нестерова, Д.А. Доброхотов // *Медико-фармацевтический журнал «Пульс».* – 2017. – Т. 19, № 3. – С. 144–149.
15. Chignell, C.F. Spectral and photochemical properties of curcumin. *Photochem Photobiol.* / C.F. Chignell [et al.] // – 1994. – Vol. 59, № 3. – P. 295–302.
16. Kim, S.H. The photo- and electrophysical properties of curcumin in aqueous solution / S. H. Kim [et al.] // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* – 2010. – Vol. 76, № 3–4. – P. 384–387.
17. Mohammed, F A comparative study of the spectral, fluorometric properties and photostability of natural curcumin, iron- and boron- complexed curcumin / F. Mohammed, F. Rashid-Doubell, S. Cassidy // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* – 2017. – Vol. 183. – P. 439–450.

#### REFERENCES

1. Kotha, R.R. Curcumin: Biological, Pharmaceutical, Nutraceutical, and Analytical Aspects / R.R. Kotha, D.L. Luthria // *Molecules.* – 2019. – Vol. 24, № 16. – P. 2930–2956.
2. Amalraj, A. Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review / A. Amalraj, A. Pius, S. Gopi // *J. of Tradit. and Complem. Medicine.* – 2017. – Vol 7, № 2. – P. 205–233.
3. Fadus, M.C. Curcumin: An age-old anti-inflammatory and anti-neoplastic agent / M.C. Fadus, C. Lau, J. Bikhchandani // *Journal of Traditional and Complementary Medicine.* – 2017. – Vol. 7, № 3. – P. 339–346.
4. Zielinska, A. Properties, Extraction Methods, and Delivery Systems for Curcumin as a Natural Source of Beneficial Health Effects / A Zielinska [et al.] // *Medicina (Kaunas).* –2020. – Vol. 56, № 7. – P. 336–354.
5. Khan, H. Mechanistic insights of hepatoprotective effects of curcumin: Therapeutic updates and future prospects / H. Khan, H. Ullah, S.M. Nabavi // *Food Chem. Toxicol.* –2019. – Vol. 124. – P. 182–191.
6. Barchitta, M. Nutrition and Wound Healing: An Overview Focusing on the Beneficial Effects of Curcumin / M. Barchitta [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2019. – Vol. 20. – P. 1119–1132.
7. Rathore, S. Curcumin: A Review for Health Benefits / S. Rathore [et al.] // *Int. J. Res. Rev.* – 2020. – Vol. 7. – P. 273–290.

8. Souto, E.B. New Nanotechnologies for the Treatment and Repair of Skin Burns Infections / E.B. Souto [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2020. – Vol. 21. – P. 393–410.
9. Sahne, F. Enzyme-assisted ionic liquid extraction of bioactive compound from turmeric (*Curcuma longa* L.): Isolation, purification and analysis of curcumin. / F. Sahne, M. Mohammadi, G.D. Najafpour // *Ind. Crop. Prod.* – 2017. – Vol. 95. – P. 686–694.
10. Batra, H. Curcumin in combination with anti-cancer drugs: A nanomedicine review / H. Batra, S. Pawar, D. Bahl // *Pharmacol. Res.* – 2019. – Vol. 139. – P. 91–105.
11. Patil, S. Extraction of curcuminoids from *Curcuma longa*: comparative study between batch extraction and novel three phase partitioning / S.S. Patil, S. Bhasarkar, V.K. Rathod // *Prep. Biochem. Biotechnol.* – 2019. – Vol. 49, № 4. – P. 407–418.
12. Kapustin, M.A. Isolation of curcuminoids from the *Curcuma longa* L horse and the study of the composition of the resulting preparation using chromatographic methods of analysis / M.A. Kapustin, A.S. Chubarova, V.P. Kurchenko // *Proceedings of the Belarusian State University. Physiological, biochemical and molecular foundations of the functioning of biosystems.* – 2016. – Vol. 11, № 2. – P. 248–262.
13. Kapustin, M.A. Evaluation of the quality of preparations based on curcuminoids and their complexes with cyclodextrins by HPLC / M.A. Kapustin, A.S. Chubarova, V.P. Kurchenko // *Belarusian medicines: collection of articles. materials Intern. scientific. Conf., Minsk, November 17–18, 2016 – Minsk, 2016.* – P. 86–91.
14. Makarova V.D., Development of a method for the identification of turmeric raw materials in the composition of drugs, biologically active additives and food products / V.D. Makarova, O. V. Nesterova, D.A. Dobrokhotov // *Medical and pharmaceutical journal «Pulse».* – 2017. – Vol. 19, № 3. – P. 144–149.
15. Chignell, C.F. Spectral and photochemical properties of curcumin. *Photochem Photobiol.* / C.F. Chignell [et al.] // – 1994. – Vol. 59, № 3. – P. 295–302.
16. Kim, S.H. The photo- and electrophysical properties of curcumin in aqueous solution / S. H. Kim [et al.] // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* – 2010. – Vol. 76, № 3–4. – P. 384–387.
17. Mohammed, F A comparative study of the spectral, fluorometric properties and photostability of natural curcumin, iron- and boron- complexed curcumin / F. Mohammed, F. Rashid-Doubell, S. Cassidy // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* – 2017. – Vol. 183. – P. 439–450.

#### ОБ АВТОРАХ/ ABOUT THE AUTHORS

**Капустин Максим Александрович**, магистр биологических наук, науч. сотр. НИЛ прикладных проблем биологии биологического факультета БГУ, г. Минск; тел.: +37529 7720526, E-mail: maximkapustin84@gmail.com

**Kapustin M.A.**, Master in Biological Sciences, researcher of the Laboratory of Applied Biology, Biology Faculty, Belarusian State University, Biology Faculty, Minsk,; Phone: +375297720526

**Чубарова Анна Сергеевна** канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотр. НИЛ прикладных проблем биологии биологического факультета БГУ, г. Минск; тел.: +375295576722, E-mail: chubarova.hanna@gmail.com

**Chubarova A.S.**, PhD in Biological Sciences, Associate Professor, senior researcher of the Laboratory of Applied Biology, Biology Faculty, Belarusian State University, Biology Faculty, Minsk,; Phone: +375295576722, E-mail: chubarova.hanna@gmail.com

**Евдокимов Иван Алексеевич**, док. техн. наук, профессор, зав. базовой кафедрой Технологии молока и молочных продуктов Института живых систем СКФУ, г. Ставрополь; тел.: +79624030847, E-mail: [ievdokimov@ncfu.ru](mailto:ievdokimov@ncfu.ru)

**Evdokimov I.A.**, Doctor in Technical Science, Professor, Head of the Department of milk and dairy products technology, Institute of Living Systems NCFU, Stavropol; Phone: +79624030847, E-mail: [ievdokimov@ncfu.ru](mailto:ievdokimov@ncfu.ru)

**Лодыгин Алексей Дмитриевич**, док. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной биотехнологии Института живых систем СКФУ, зам. директора Института живых систем СКФУ по научной работе, г. Ставрополь; тел.: +8652330318, E-mail: [alodygin@yandex.ru](mailto:alodygin@yandex.ru)

**Lodigin A.D.**, Doctor in Technical Science, Professor, Head of the Department of applied biotechnology, Institute of Living Systems NCFU, Stavropol; Phone: +8652330318, E-mail: [alodygin@yandex.ru](mailto:alodygin@yandex.ru)

**Лодыгина Светлана Валентиновна**, канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной биотехнологии Института живых систем СКФУ, г. Ставрополь; тел.: +8652330318, E-mail: [svetvallod@mail.ru](mailto:svetvallod@mail.ru)

**Lodigina S.V.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of applied biotechnology, Institute of Living Systems NCFU, Stavropol; Phone: +8652330318, E-mail: [svetvallod@mail.ru](mailto:svetvallod@mail.ru)

**Янцевич Алексей Викторович**, канд. хим. наук, зав. лабораторией белковой инженерии Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси, г. Минск; тел: +375 (29) 193-93-40, E-mail: [yantsevich@iboch.by](mailto:yantsevich@iboch.by)

**Yantsevich A.V.**, PhD in Chemistry, head of Laboratory of Protein Engineering of the Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk; Phone: +375 (29) 193-93-40, E-mail: [yantsevich@iboch.by](mailto:yantsevich@iboch.by)

**Курченко Владимир Петрович**, канд. биол. наук, доцент, зав. НИЛ прикладных проблем биологии биологического факультета БГУ, г. Минск; тел.: +375 29 6630347, E-mail: [kurchenko@tut.by](mailto:kurchenko@tut.by)

**Kurchenko V.P.**, PhD, Associate Professor, Head of the Laboratory of Applied Biology, Biology Faculty, Belarusian State University, Biology Faculty, Minsk,; Phone: +375 29 6630347, E-mail: [kurchenko@tut.by](mailto:kurchenko@tut.by).

Дата поступления в редакцию: 07.04.2022  
После рецензирования: 22.05.2022  
Дата принятия к публикации: 03.06.2022