

Елена Николаевна Соколова

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок, кандидат биологических наук, Москва, Россия

E-mail: elenaniksokolova@inbox.ru

Елена Ивановна Курбатова

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок, кандидат технических наук, Москва, Россия

E-mail: elena_kurbatova@list.ru

Татьяна Владимировна Юраскина

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, младший научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок, аспирант, Москва, Россия

E-mail: tatyana vladyuraskina@gmail.com

Елена Михайловна Серб

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, заместитель директора по научной работе, доктор биологических наук, доцент, член-корреспондент РАН, Москва, Россия

E-mail: serbae@mail.ru

НАПРАВЛЕННЫЙ КАТАЛИЗ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА БИОЛОГИЧЕСКИ ЦЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ

Рациональный подход к способу воздействия на растительную ткань является крайне важным аспектом для извлечения биологически активных компонентов и сохранения их природной ценности. Цель работы – разработка биотехнологического способа получения полуфабрикатов с повышенным содержанием пищевых и биологически активных веществ как основы для получения напитков сбалансированного состава. Количественный и качественный состав биологически активных компонентов в полученных ферментолизатах и концентратах исследовали различными спектрофотометрическими, колориметрическими и титриметрическими методами анализа. В ходе исследований выявлена возможность повышения выхода биологически активных компонентов в экстракты в результате направленного ферментативного гидролиза полимеров клеточных стенок плодово-ягодного сырья. Установлено, что мультиэнзимные композиции, состоящие из пектиназы, протеазы, β -глюканазы для яблочного сырья и пектиназы и β -глюканазы для обработки сырья из черной смородины, позволяют увеличить выход фенольных веществ, витамина С и редуцирующих углеводов. Так, в ферментолизате черной смородины, в отличие от сока, концентрация фенольных веществ была увеличена в 7,5 раза, а витамина С – в 2 раза. Экспериментально показана возможность получения концентрированных форм ингредиентов с применением современных методов мембранных технологий. Подобрана оптимальная степень концентрирования ферментолизатов с сохранением органолептических характеристик и содержанием биологически активных веществ (БАВ). Для концентрата черной смородины концентрация растворимых сухих веществ (РСВ) составила 64,8 %, для яблок – 58,2 %. Нарботана экспериментальная партия концентратов из плодово-ягодного сырья и изучен их биохимический состав. Полученные ингредиенты будут использованы в качестве основы для создания натуральных напитков сбалансированного состава.

Ключевые слова: растительное сырье, ферменты, биокатализ, напитки из натурального сырья, концентрирование, фильтр-картон, мембраны, биологически ценные компоненты, ингредиенты.

Elena N. Sokolova

Cand. of Biol. Sci., Leading Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

E-mail: elenaniksokolova @ inbox .ru

Elena I. Kurbatova

Cand. of Biol. Sci., Leading Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

E-mail: elena_kurbatova @ list .ru

Tatyana V. Yuraskina

Postgraduate Student, Junior Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

E-mail: tatynavladyuraskina@gmail.com

Elena M. Serba

Dr. of Biol. Sci., Assoc. Prof., Deputy Director for Research, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology - Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

E-mail: serbae@mail.ru

TARGETED CATALYSIS AS A WAY TO INCREASE THE YIELD OF BIOLOGICAL VALUABLE SUBSTANCES FROM FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS

The rational method of plant tissue treatment is a particularly important aspect to extract and preserve natural value of biologically active components. The aim of this work was development of biotechnology of semi-finished products with an increased content of food and biologically active substances as beverages base with a balanced composition production. The quantitative and qualitative compound of biologically active components in the obtained fermentolysates and concentrates by various spectrophotometric, colorimetric and titrimetric analysis methods was investigated. The possibility of increasing of biologically active components yield in extracts as a result of targeted enzymatic hydrolysis of cell walls polymers of fruit and berry raw materials was identified. It was established that multienzyme compositions consisting of pectinase, protease, β -glucanase for apple raw materials, and pectinase and β -glucanase for blackcurrant raw materials treatment provide increasing the yield of phenolic substances, vitamin C and reducing carbohydrates. So, the concentration of phenolic substances in the blackcurrant fermentolysate was increased 7.5 times, and vitamin C - 2 times, in contradistinction to juice. The possibility of receiving concentrated forms of ingredients by using modern membrane technologies was experimentally shown. The optimal degree of fermentolysates concentration to maintain organoleptic characteristics and the content of biologically active substances was selected. Soluble solids content of blackcurrant concentrate was 64.8%, apple concentrate - 58.2%. An experimental batch was produced and biochemical composition of concentrates from fruit and berry raw materials was studied. Produced ingredients will be used as a base for creating natural beverages with balanced composition.

Keywords: plant raw materials, enzymes, biocatalysis, beverages made from natural raw materials, concentration, filter sheets, membranes, biologically valuable components, ingredients.

Введение. В последние десятилетия развития предприятий агропромышленного комплекса отмечается расширение ассортимента продуктов питания и БАД на основе использования возобновляемых источников сырья, а также вторичных сырьевых источников. При этом особое внимание уделяется вопросам повышения эффективности использования сырьевых источ-

ников растительного происхождения с применением различных способов предобработки (УЗ, СВЧ, низкотемпературная обработка, термошок и т. д.) [1]. Ценность плодов и ягод определяется широким спектром находящихся в них натуральных пищевых ингредиентов (полифенолов, витаминов, каротинов, минеральных, пектиновых веществ), способных поддерживать на должном уровне координированную работу физиологических и регуляторных систем организма [2]. Особо важное значение имеют вещества фенольной природы, способные проявлять противовоспалительные, антибактериальные свойства, высокую антиоксидантную способность, существенно снижать проницаемость клеток капилляров и т. д. [3–5]. Рациональный подход к подбору способа воздействия на растительную ткань является крайне важным аспектом для извлечения биологически активных компонентов и сохранения их природной ценности. Особенности тканевого строения растительного сырья, а также локализация биологически ценных веществ в структуре сырья требуют тщательного исследования для извлечения их в растворимую форму.

Цель исследования. Разработка биотехнологического способа получения полуфабрикатов с повышенным содержанием пищевых и биологически активных веществ как основы для получения напитков сбалансированного состава.

Задачи исследования: исследовать биохимический состав ферментоллизатов яблочного и черносмородинового сырья; зависимость биохимического состава ферментоллизатов от степени концентрирования; оценить влияние степени концентрирования на выход биологически активных веществ.

Материалы и методы исследования. Количественный и качественный состав биологически активных компонентов в полученных ферментоллизатах растительного сырья изучали следующими методами: редуцирующие вещества (РВ) – методом Шомоди-Нельсона [6]; содержание витамина С – титриметрическим методом согласно ГОСТ 24556-89 [7]; содержание общих фенольных веществ – методом Фолина-Чокальтеу [8]; растворимых сухих веществ – рефрактометрическим методом [9]; содержание аминного азота – титриметрическим методом, описанным в ОФС.1.2.3.0022.15 [10].

Объектами исследований являлись ферментоллизаты яблочного (источники витаминов С, В₁, В₂, Р, Е, бета-каротина, микро-, макроэлементов, пектиновых веществ, моно-, ди-, олигосахаридов, органических кислот, флавоноидов) и черносмородинового сырья (источник витаминов С, В, Р, провитамина А, органических кислот, моно-, ди-, олигосахаридов, гликозидов, флавоноидов, пектиновых, дубильных, антоциановых веществ, флавонолов и азотистых веществ, полиненасыщенных жирных кислот в семенах).

Статистическую обработку экспериментальных данных, полученных в результате трехкратной повторности, проводили с применением стандартной программы MS Excel.

Результаты исследования и их обсуждение. На предыдущих этапах исследования нами было изучено влияние ферментативной обработки на степень деструкции полимеров плодово-ягодного сырья, выявлены наиболее эффективные мультиэнзимные композиции для биокатализа клеточных полимеров, состоящие из пектиназы, протеазы, β-глюканазы для яблочного сырья, а также пектиназы и β-глюканазы для обработки сырья из черной смородины. В качестве ферментных препаратов использовались Пектофоетидин Г20Х – источник пектолитических ферментов, Целловиридин Г20Х – источник гемицеллюлолитических ферментов и Амилопротооризин Г20Х – источник протеолитических ферментов. Все ферментные препараты отечественного производства, получены на опытно-промышленной установке ООО «Биопрогресс» г. Щелково. Исследовано влияние технологических параметров ферментоллиза плодово-ягодного сырья (температура, длительность) на выход биологически ценных компонентов, экспериментально выявлены оптимальные условия: температура процесса 48–52 °С и длительность 1,5–2,5 часа, обеспечивающие повышение выхода жидкой фракции гидролизата с сохранением нативного состояния биологически ценных компонентов.

С использованием подобранных ферментных препаратов и разработанных условий их каталитического воздействия на плодово-ягодное сырье наработана опытная партия ферментоллизатов с повышенным содержанием БАВ, изучен их биохимический состав (табл. 1).

Биохимический состав ферментоллизатов плодово-ягодного сырья

Вид сырья	СВ, %	pH	Фенольные соединения, мг/100см ³	PВ, мг/100см ³	Витамин С, мг/дм ³
Черная смородина	14,2±0,7	2,8±0,1	723,0±35,9	221,5±11,1	320,5±16,0
Яблоки	11,8±0,6	3,8±0,2	96,0±4,8	310,1±15,5	157,2±7,9

Полученные ферментоллизаты различались в основном по содержанию фенольных веществ и витамина С. Ферментоллизат черной смородины содержал в 7,5 раза больше фенольных веществ и в 2,0 раза витамина С (см. табл. 1).

Необходимым аспектом в технологическом процессе получения натуральных изделий на основе плодово-ягодного сырья является обеспечение сохранности пищевой и биологической ценности природных компонентов, а также стабильности коллоидного состояния используемых полуфабрикатов. Одним из наиболее эффективных способов, используемых для достижения этой цели, является концентрирование с применением мембранных процессов [11, 12].

В настоящих исследованиях с целью получения концентрированных форм обога-

щенных ферментоллизатов была изучена зависимость биохимического состава конечной формы полуфабриката от разрешающей способности фильтрующих материалов, а также режимов вакуум-выпаривания. В работе исследовали фильтрующие материалы отечественного производства: мембраны марки УПМ-10, УПМ-20, УПМ-100, УПМ-200, фильтр-картон марки DKF-3. В качестве критериев оценки эффективности процесса концентрирования рассматривали зависимость содержания биологически ценных компонентов в ультраконцентратах ферментоллизатов плодово-ягодного сырья от конечной концентрации в них растворимых сухих веществ (РСВ) (рис. 1).

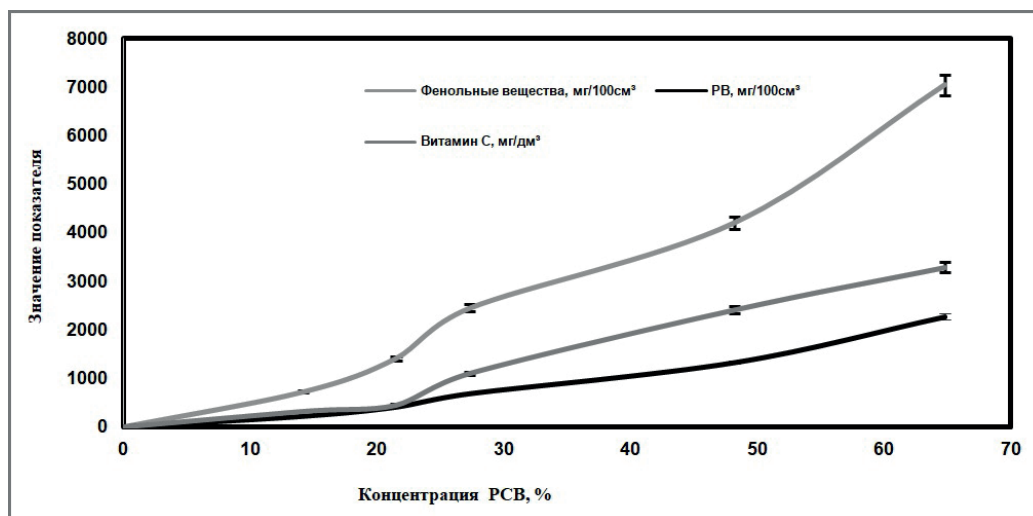


Рис. 1. Зависимость биохимического состава концентрата из черной смородины от степени концентрирования ферментоллизата

Изменение показателей полученных концентратов из ферментоллизата черной смородины в отношении биологически активных компонентов от степени концентрирования показало линейную зависимость сохранения БАВ в ферментоллизате. В качестве оптимальных условий выбрана степень концентрирования в 10,25 раза (до концентрации РСВ 64,8 %). Концентрирование до

более высоких значений РСВ приводит к снижению эффективности работы мембраны, а также ухудшает реологические свойства получаемого полуфабриката. В связи с тем, что значение pH продукта отражается на его органолептической оценке, экспериментально подтверждено, что использование выбранных режимов фильтрации существенно не влияет на изменение вкусовых

показателей продукта: pH ультраконцентрата практически не изменялось.

Аналогичные исследования были проведены с ферментоллизатом, полученным на основе яблочного сырья (рис. 2).

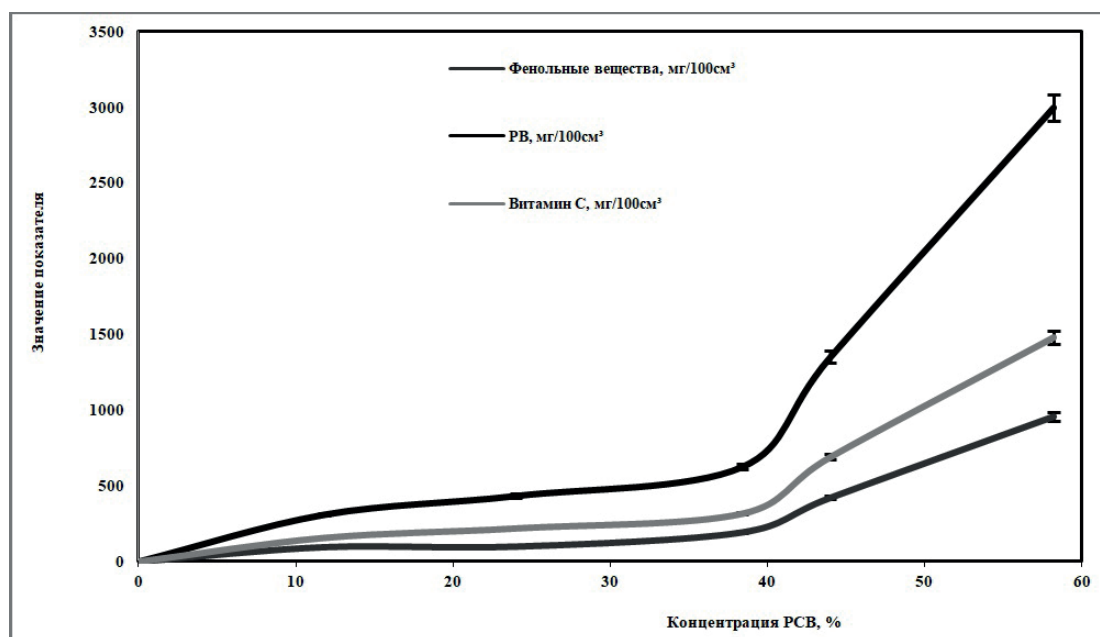


Рис. 2. Влияние степени концентрирования ферментоллизата яблочного сырья на выход БАВ из яблок

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о рациональности концентрирования яблочного ферментоллизата до концентрации РСВ = 58,2 %, при этом pH ультраконцентрата находилось в пределах допустимых значений 3,0–3,5 усл. ед., что соответствует кисло-сладкому вкусу и не будет влиять на органолептические показатели получаемых продуктов.

Наработана экспериментальная партия концентрированной формы ферментоллизатов плодово-ягодного сырья в качестве основы для создания образцов напитков сбалансированного состава, а также в качестве корректирующих компонентов биологической полноценности получаемых продуктов и изучен их биохимический состав (табл. 2).

Таблица 2

Биохимический состав полученных концентрированных форм ингредиентов

Вид сырья	СВ, %	pH	Аминный азот, мг%	Фенольные соединения, мг/100 см ³	РВ, мг/100 см ³	Витамин С, мг/дм ³
Черная смородина	64,8±3,2	2,6±0,1	7420,0±371,0	7035,2±351,8	2265,7±113,3	283,2±14,2
Яблоки	58,5±2,9	3,2±0,2	80,5±4,0	958,8±47,9	2998,8±149,9	482,2±24,1

Выводы. Исследован биохимический состав ферментоллизатов из яблок и черной смородины. С применением современных мембранных процессов получены концентрированные формы полуфабрикатов для напитков. Напитки, получаемые на основе концентрированных форм ингреди-

ентов из плодово-ягодного сырья, будут перспективны для употребления всех групп населения, так как в них идеально сочетается вкусо-ароматическая составляющая и широкий спектр необходимых биологически активных веществ.

Литература

1. *Домарецкий В.А.* Технология экстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья: учеб. пособие. М.: Форум, 2011. 448 с. (Высшее образование).
2. *Тутельян В.А.* Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания / под ред. *В.А. Тутельяна, А.П. Нечаева*. М.: ДеЛи плюс, 2014. 520 с.
3. *Быстрова Е.А.* Исследование компонентного состава фенольных соединений и антиоксидантной активности брусничного сока // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 3 (22). С. 19–26.
4. *Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А., Музычкина Р.А.* и др. Природные флавоноиды / Рос. акад. наук, Сиб. отд., Новосиб. ин-т органической химии. Новосибирск: Тео, 2007. 232 с.
5. *Тынянина И.И.* Разделение, концентрирование и анализ антоцианов и бетацианинов в экстрактах растительного сырья с применением оптических и хроматографических методов: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02. Белгород, 2015. 147 с.
6. ОФС.1.2.3.0022.15. Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. М., 2015.
7. *Синицын А.П., Черноглазов В.М., Гусakov А.В.* Методы исследования и свойства целлюлолитических ферментов. М.: ВИНТИ, 1990. Т. 25. С. 30–37.
8. *Волков А.И., Жарский И.М.* Большой химический справочник. М.: Советская школа, 2005. 608 с.
9. ГОСТ ISO 2173-2013. Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2014. 14 с.
10. *Латыпова Г.М., Романова З.Р., Бубенчикова В.Н.* и др. Исследование качественного и количественного состава флавоноидных соединений густого экстракта первоцвета лекарственного // Химия растительного сырья. 2009. № 4. С. 113–116.
11. *Кудряшов В.Л., Рабинович А.З., Павлова Е.С.* и др. Разработка способа производства высокоочищенных яблочных соков на основе мембранных и биотехнологических процессов // Теоретические и практические аспекты развития спиртовой, ликероводочной, ферментной, дрожжевой и уксусной отраслей промышленности. М.: ВНИИПБТ, 2011. С. 263–270.
12. *Кудряшов В.Л., Погоржельская Н.С., Лемтюгин А.И.* и др. Использование экстракта шиповника в безалкогольных и алкогольных напитках и его производство с применением баромембранных процессов // Пиво и напитки. 2018. № 2. С. 70–75.

Literatura

1. *Domareckij V.A.* Tehnologiya `ekstraktov, koncentratov i napitkov iz rastitel'nogo syr'ya: ucheb. posobie. M.: Forum, 2011. 448 s. (Vysshee obrazovanie).
2. *Tutel'yan V.A.* Pischevye ingredienty v sozdanii sovremennyh produktov pitaniya / pod red. *V.A. Tutel'yana, A.P. Nechaeva*. M.: DeLi plus, 2014. 520 s.
3. *Bystrova E.A.* Issledovanie komponentnogo sostava fenol'nyh soedinenij i antioksidantnoj aktivnosti brusnichnogo soka // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotehnologiya. 2017. T. 7. № 3 (22). S. 19–26.
4. *Korul'kin D. Yu., Abilov Zh.A., Muzychkina R.A.* i dr. Prirodnye flavonoidy / Ros. akad. nauk, Sib. otd., Novosib. in-t organicheskoy himii. Novosibirsk: Teo, 2007. 232 s.
5. *Tynyanina I.I.* Razdelenie, koncentrirovanie i analiz antocianov i betacianinov v `ekstraktah rastitel'nogo syr'ya s primeneniem opticheskikh i hromatograficheskikh metodov: dis. ... kand. him. nauk: 02.00.02. Belgorod, 2015. 147 s.
6. OFS.1.2.3.0022.15. Opredelenie aminnogo azota metodami formol'nogo i jodometricheskogo titrovaniya. M., 2015.
7. *Sinicyn A.P., Chernoglazov V.M., Gusakov A.V.* Metody issledovaniya i svojstva cellyulolicheskikh fermentov. M.: VINITI, 1990. T. 25. S. 30–37.
8. *Volkov A.I., Zharskij I.M.* Bol'shoj himicheskij spravochnik. M.: Sovetskaya shkola, 2005. 608 s.
9. GOST ISO 2173-2013. Produkty pererabotki fruktov i ovoschej. Refraktometricheskij metod opredeleniya rastvorimyh suhих veschestv. Vved. 01.07.2015. M.: Standartinform, 2014. 14 s.
10. *Latypova G.M., Romanova Z.R., Bubenchikova V.N.* i dr. Issledovanie kachestvennogo i koli-

- chestvennogo sostava flavonoidnyh soedinenij gustogo `ekstrakta pervocveta lekarstvennogo // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 2009. № 4. S. 113–116.
11. Kudryashov V.L., Rabinovich A.Z., Pavlova E.S. i dr. Razrabotka sposoba proizvodstva vysokoochishchennyh yablochnyh sokov na osnove membrannyh i biotehnologicheskikh processov // Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya spirtovoj, likerovodochnoj, fermentnoj, drozhzhevoj i uksusnoj otraslej promyshlennosti. M.: VNIIPBT, 2011. S. 263–270.
12. Kudryashov V.L., Pogorzhel'skaya N.S., Lemtugin A.I. i dr. Ispol'zovanie `ekstrakta shipovnika v bezalkogol'nyh i alkohol'nyh napitkah i ego proizvodstvo s primeneniem baromembrannyh processov // Pivo i napitki. 2018. № 2. S. 70–75.

Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2019–2021 годы (тема № 0529-2019-0066).

