

Научная статья

УДК 677.021.151.232

EDN IQWBPS

doi 10.34216/2587-6147-2024-1-63-20-26

Светлана Евгеньевна Шипова<sup>1</sup>

Светлана Владимировна Алеева<sup>2</sup>

Алексей Юрьевич Матрохин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия

<sup>1</sup> sveta.aladina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1893-4456>

<sup>2</sup> svetlana19750710@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4443-8293>

<sup>3</sup> k\_mtsm@ivgpu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2373-3904>

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ НА ЕЕ ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ

**Аннотация.** В статье предложена методология экспериментального мониторинга совокупности параметров химического состояния биополимерной системы технической конопли. С применением приемов последовательной экстракции определено содержание альфа-целлюлозы, пектиновых веществ, гемицеллюлоз, кислотонерастворимого лигнина и других сопутствующих соединений, включая ионы тяжелых металлов, экстракционные вещества, оксид кремния, в лубе, костре и неориентированной пеньке, полученных из технической тресты конопли, выращенной в Ивановской области. Прослежено влияние почвенного фактора на биосинтез полимеров и сопутствующих веществ лубяной и древесной части стебля и на разрушение растительных тканей конопли в условиях лугового расстила. Установлено, что на состав конопляного сырья влияет не только генетическая природа растения, но и условия его выращивания и особенности действия почвенной микрофлоры в процессах первичной обработки стебля.

**Ключевые слова:** техническая конопля, луб, костра, пенька, полимерный состав, альфа-целлюлоза, пектиновые вещества, лигнин, ионы тяжелых металлов, экстракционные вещества

**Для цитирования:** Шипова С. Е., Алеева С. В., Матрохин А. Ю. Влияние условий выращивания и первичной обработки технической конопли на ее полимерный состав // Технологии и качество. 2024. № 1(63). С. 20–26. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-1-63-20-26>.

Original article

Svetlana E. Shipova<sup>1</sup>

Svetlana V. Aleeva<sup>2</sup>

Alexey Yu. Matrokhin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

## INFLUENCE OF GROWING CONDITIONS AND PRIMARY PROCESSING OF TECHNICAL HEMP ON ITS POLYMER COMPOSITION

**Abstract.** The article proposes a methodology for experimental monitoring of a set of parameters of the chemical state of a biopolymer system of technical cannabis. Using sequential extraction techniques, the content of alpha-cellulose, pectin substances, hemicelluloses, acid insoluble lignin and other related compounds, including heavy metal ions, extraction substances, silicon oxide, in bast, bonfire and undirected hemp obtained from technical hemp trusts grown in Ivanovo Region, was determined. The influence of the soil factor on the biosynthesis of polymers and related substances of the bast and woody parts of the stem and on the destruction of plant tissues of hemp in the conditions of meadow vegetation has been traced. It has been established that the composition of hemp raw materials is influenced not only by the genetic nature of the plant, but also by the natural conditions of its cultivation and the peculiarities of the action of soil microflora in the processes of primary processing of the stem.

**Keywords:** technical hemp, bast, bonfire, hemp, polymer composition, alpha cellulose, pectin substances, lignin, heavy metal ions, extractive substances

© Шипова С. Е., Алеева С. В., Матрохин А. Ю., 2024

**For citation:** Shipova S. E., Aleeva S. V., Matrokhin A. Yu. Influence of growing conditions and primary processing of technical hemp on its polymer composition. *Technologies & Quality*. 2024. No 1(63). P. 20–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-1-63-20-26>.

В современных условиях санкционных ограничений разработка новых материалов и прорывных технологий их получения за счет эффективных методов комплексной глубокой переработки отечественного лигноцеллюлозного сырья в наукоемкие продукты с высокой добавленной стоимостью является основой инновационного развития биорефайнинга в нашей стране [1, 2]. С этих позиций широкими перспективами обладает техническая конопля как уникальная исконно русская стратегическая лубоволокнистая культура, которая характеризуется высокой урожайностью и неприхотливостью при выращивании.

Общеизвестно, что область применения технической конопли довольно широка. Благодаря выведению бесканнабиноидных (безнаркотических) сортов конопляное волокно рассматривается в качестве лучших заменителей хлопка, синтетических материалов в текстильной промышленности, целлюлозно-бумажной, строительной индустрии, в медицинской, космической, оборонной отраслях, автомобиле-, авиа- и судостроении [3–5]. Из семян конопли можно производить пищевые продукты, косметические средства, товары для животных.

В последние годы наблюдается повышенное внимание исследователей к этому быстрорастущему растению в свете научного поиска новых биохимических методов повышения производства и биологической активности вторичных метаболитов конопли. Согласно исследованиям ведущих мировых ученых особую значимость имеет переработка данного растения для экстракции из него основных активных соединений, используемых в качестве терапевтических альтернатив при ряде патологий [6–8]. В частности, показано, что флавоноиды, стильбеноиды, терпеноиды, алкалоиды и лигнаны конопли способны проявлять противораковые, иммуностимулирующие, антиоксидантные свойства, а также оказывать противовоспалительное и обезболивающее действие [9–11].

Учитывая возобновившийся интерес к этой культуре и существующий мировой тренд на расширение возможностей ее применения в различных отраслях, актуальным является необходимость углубления существующих знаний о химической природе технических сортов конопли. Совершенствование технологий глубокой переработки конопляного сырья позволит получать высококачественную наноцеллюлозу, лигнин, ванилин, моносахариды, био-

этанол, фурфурол и многие другие ценные, в том числе и фармацевтические, продукты.

Цель настоящего исследования состояла в выявлении корреляций между химическим составом и условиями выращивания и переработки технической конопли.

Выращивание растения проведено на полях Ивановской области. Уборка и переработка стеблей технической конопли были осуществлены с применением современных механизированных технологий.

Химическому исследованию подвергнуты луб и костра конопли, а также пенька однородная неориентированная. Первые два вида анализируемых объектов получены в результате ручного отделения фракций коровой и сердцевидной частей из тресты технической конопли. Волокнистая часть (луб) свободно отделяется от костры вследствие эффективного разрушения связей в стебле конопли между волокном и древесиной в условиях росяной мочки за счет развития почвенных микроорганизмов и протекания процессов фитопатогенеза в естественных климатических условиях в течение 3...4 недель. Пенька представляет собой непараллелизованное техническое волокно конопли, получаемое в результате механической обработки луба.


В табл. 1 представлены результаты визуальной оценки анализируемых разновидностей конопляного сырья, прошедших стадии первичной обработки. Нетрудно видеть, что исследуемые объекты существенно различаются по окраске, толщине и жесткости.

Анализируемые образцы пеньки соответствуют техническим условиям ГОСТ Р 58957–2020. Однако нормирование качества конопляного сырья по его внешнему виду и содержанию сорных примесей недостаточно для определения стратегии последующих химико-технологических обработок для комплексной глубокой его переработки в наукоемкие продукты. Наиболее объективно состояние конопляного сырья отражает анализ его химического состава.

Комплексный анализ полимерного состава образцов проведен в соответствии с разработанной методологией экспериментального мониторинга совокупности параметров химического состояния биополимерной системы.

Представленная на рисунке схема отражает последовательность получения данных при обработке анализируемых видов конопляного сырья: луба, костры и пеньки.

Характеристика анализируемых образцов

№	Наименование	Внешний вид	Описание анализируемого образца
1	Луб		Волокнистые не расчесанные пучки, выделенные из тресты путем ее обработки биологическим методом в условиях росистой мочки (расстила стебля на земле) и механического отделения древесной части стебля; волокно свободно отделяется от костры; цвет от светло-бежевого до бурого
2	Костра		Обломки древесной части стебля; основным компонентом (~ 80 мас. %) являются утолщенные частицы срединной части стебля – ксилемы, длина которых составляет до 35 мм и толщина до 1,2 мм; содержит плоские ленточки коровой паренхимы длиной 3...180 мм (около 20 мас. %)
3	Пенька		Неориентированное чесаное волокно с содержанием присущей костры на уровне 25 мас. %; толщина волокна по всей длине неравномерная; волокно жесткое на ощупь; цвет от светло-бежевого до темно-бежевого

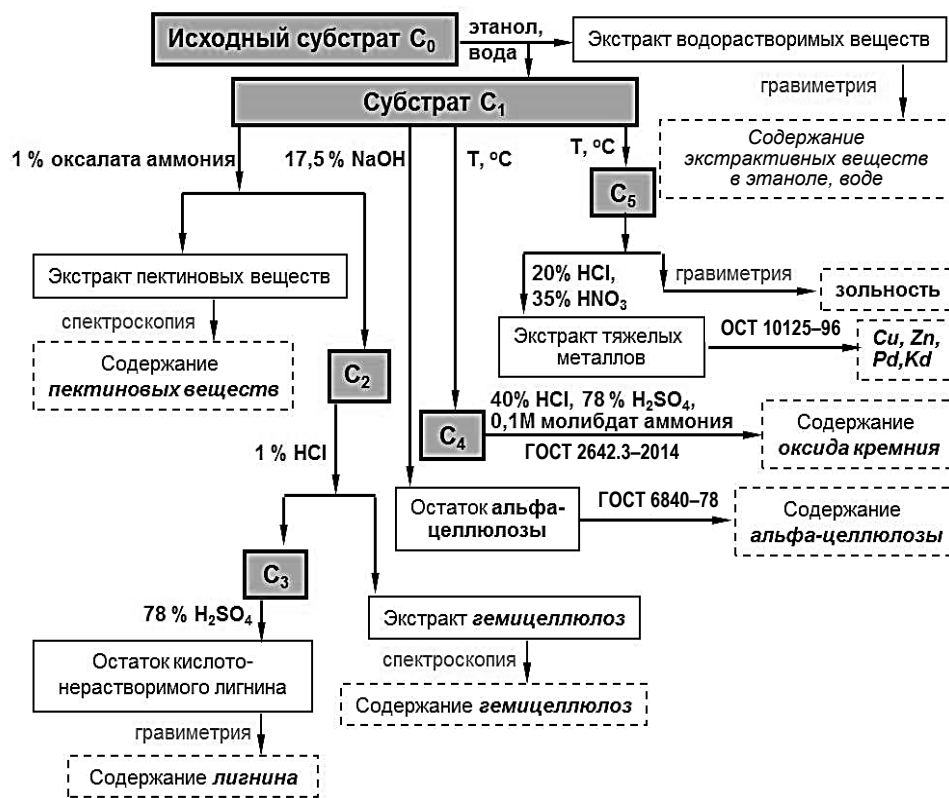


Рис. Схема комплексного анализа химического состава образцов конопляного сырья

Получаемые в экстракционном цикле дополнительные субстраты  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  и  $C_5$  представляют интерес для определения следующих полимерных компонентов:

$C_1$  – альфа-целлюлозы и пектиновых веществ; кроме того, данный объект требуется для получения субстратов  $C_2$ ,  $C_4$  и  $C_5$ ;

$C_2$  – гемицеллюлоз; субстрат необходим для получения образца  $C_3$ ;

$C_3$  – лигнин;

$C_4$  – оксида кремния;

$C_5$  – тяжелых металлов и определения зольности.

Исходные образцы использованы для получения субстрата  $C_1$  и количественного определения экстрактивных веществ, растворимых в этиловом спирте или в воде соответственно.

Для оценки содержания полиуглеводов адаптированы экстракционные методы анализа льняного сырья [12]. Пектиновые вещества из-

влекали кипячением в 1%-ном растворе оксалата аммония в течение 2 ч. Гемиллюлозы солибилизировали 1%-ным раствором HCl. Содержание пектинов и гемиллюлоз в последовательно полученных гидролизатах определяли спектрофотометрическим методом по окрашенному комплексу полимера с *o*-толуидином при длине волны 360 нм [13].

Содержание лигнина определяли по массе не растворившегося осадка после обработки

серной кислотой. Массовая доля альфа-целлюлозы в исследуемых объектах оценена в соответствии с ГОСТ 6840–78 гравиметрическим методом. Определение в анализируемых объектах тяжелых металлов проведено согласно ОСТ 10125–96. Оценку содержания оксида кремния проводили по ГОСТ 2642.3–2014 с использованием прямого фотометрического метода.

Результаты химического анализа материалов приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Совокупность параметров химического состояния биополимерной системы конопляного сырья

Наименование показателя	Вид анализируемого образца			
	Луб	Костра	Пенька	
$\alpha$ -Целлюлоза, мас. %	59,8 ± 1,0	38,3 ± 0,8	73,4 ± 0,8	
Гемиллюлозы, мас. %	18,3 ± 0,5	10,5 ± 0,4	7,7 ± 0,3	
Пектиновые вещества, мас. %	7,9 ± 0,1	4,5 ± 0,1	4,3 ± 0,1	
Лигнин, мас. %	7,5 ± 0,2	23,4 ± 0,5	6,2 ± 0,1	
Экстрактивные вещества, %:				
	в воде	7,5 ± 0,1	4,6 ± 0,1	2,3 ± 0,1
	в этаноле	5,9 ± 0,1	3,7 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Оксид кремния, %	0,25 ± 0,05	0,13 ± 0,02	0,23 ± 0,05	
Зольность, %	2,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,9 ± 0,1	
Тяжелые металлы, мг/кг:	медь	6,5 ± 0,1	3,7 ± 0,1	5,0 ± 0,1
	цинк	12,1 ± 0,1	6,1 ± 0,1	8,9 ± 0,1
	свинец	5,8 ± 0,1	3,3 ± 0,1	4,2 ± 0,1
	кадмий	1,1 ± 0,1	Не обнаружено	Не обнаружено
			Не обнаружено	Не обнаружено

Сравнительный анализ полимерного состава образцов, прошедших стадию росной мочки и механического фракционирования на волокнистую и древесную части, показывает, что содержание полисахаридных примесей в лубе значительно превышает контролируемые показатели для костры. В частности, уровень содержания пектиновых веществ в волокнистой фракции на 3,4 мас. % выше контролируемого показателя в древесной части стебля конопли (в костре). Различия массовой доли гемиллюлоз для сопоставляемых образцов составляют 7,8 мас. %. По-видимому, это обусловлено микробиологическими особенностями их разрушения под действием почвенных микроорганизмов в процессе мацерации стеблей лубяной культуры при проведении росной мочки.

Вместе с тем количество лигнина в костре конопли в 3,1 раза превышает уровень полимера в лубе. Наблюдаемые различия обусловлены морфологическими особенностями строения волокнистой и древесной части стебля конопли.

Из литературных источников известно, что основной растительной тканью древесной части стебля (костры) является ксилема, которая образует сплошной мощный слой, сформированный продольными рядами полых трахеальных элементов, выполняющих транспортные функции по переносу поглощаемых из почвы питательных веществ. Повышенное содержание

лигнина в составе костры обусловлено его особой ролью в реализации уникального сочетания функций ксилемы. Специфика морфологии ксилемы конопляного стебля состоит в том, что в отличие от древесных растений она не содержит древесинных волокон (либриформ), которые обладают высокой механической прочностью. В связи с этим ксилема конопли обеспечивает механическую прочность стебля благодаря высокому содержанию лигнина в структуре клеточных стенок ксилемы. При этом лигнин изначально формирует кольцевые и спиральные образования, которые вместе с макромолекулами пектиновых веществ оплетают целлюлозные фибриллы. А в процессе созревания конопли лигнин создает сплошной каркас, жесткость которого обеспечивает высокую прочность стебля при уникальном соотношении параметров его толщины и высоты.

В структуре луба конопли лигнин сосредоточен в основном в стыковых спайках волокон, которые разрастаются в локальные межклеточные одревеснения, что объясняет его меньшее содержание относительно костры.

Вместе с тем волокнистая фракция конопли содержит в 1,5 раза больше альфа-целлюлозы относительно уровня показателя для костры, что обуславливает ее ценность как высокопродуктивного сырья для получения целлюлозы различного назначения. Однако луб характеризуется

более высоким содержанием оксида кремния, зольных соединений и экстрактивных веществ.

Сопоставление химического состава луба и пеньки позволяет выявить корреляции влияния способа первичной подготовки конопляного волокна на его химическую структуру. Результаты показали, что оба эти волокна содержат примеси одной и той же природы. Однако общее содержание примесей в пеньке ниже, чем в лубе, что обусловлено проведением стадии механической очистки конопляного волокна при получении однотипной неориентированной пеньки. В результате первичной обработки сырья достигается почти четырехкратная убыль лигнина в неориентированном пеньковом волокне относительно костры за счет более полного удаления лигнифицированных образований, включая ксилему.

Механическое воздействие на луб оказывает существенное влияние и на удаление полисахаридных компонентов пеньки: различия массовой доли пектиновых веществ и гемицеллюлоз составляют 1,8 и 2,3 раза соответственно. При этом доля альфа-целлюлозы в пеньке составляет более 70%, что на 13,6 мас. % выше данных для луба.

В структуре анализируемых образцов обнаружены ионы тяжелых металлов, в том числе меди, цинка и свинца. В лубе наряду с вышеназванными соединениями установлено присутствие кадмия. В свете последних биохимических исследований, направленных на изучение условий онтогенеза конопляной культуры, наблюдаемый результат не удивителен и взаимосвязан с почвенным фактором ее произрастания. Так, в ряде исследовательских работ [14, 15] отмечается свойство растения поглощать тяжелые металлы из почвы в процессе его онтогенеза, что положено в основу разработки эффективных методов фитоочистки почвы от промышленных загрязнений.

Полученные данные о присутствующих видах тяжелых металлов в анализируемом конопляном сырье согласуются с результатами исследований по оценке загрязнения почв

г. Иваново, выполненными специалистами Ивановского государственного политехнического университета [16]. Однако следует отметить, что доля поллютантов в исследуемом сырье не велика. Согласно сведениям ОФС.1.5.3.0009.15 Министерства здравоохранения Российской Федерации зарегистрированный уровень ионов металлов не превышает их предельно допустимую концентрацию, регламентированную для лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов [17].

## ВЫВОДЫ

1. С применением разработанной методологии экспериментального мониторинга совокупности параметров химического состояния биополимерной системы осуществлена комплексная оценка долевого содержания основных полимерных компонентов (альфа-целлюлозы, пектиновых веществ, гемицеллюлоз, кислотонерастворимого лигнина) и других сопутствующих соединений, включая ионы тяжелых металлов, оксид кремния, экстракционных веществ, в лубе, костре и пеньке, полученных из тресты технической конопли.

2. Экспериментально подтверждено, что содержание и состав полимерных компонентов конопляного сырья определяются не только генетической природой применяемого сорта, но и природными условиями региона его выращивания и особенностями действия почвенной микрофлоры в процессах первичной обработки стебля.

3. Химический состав конопляных материалов определяет специфику использования разных подходов к проведению модификации образцов луба, костры и пеньки в процессах их глубокой переработки в наукоемкие продукты с высокой добавленной стоимостью. Наиболее перспективным видом сырья для получения целлюлозы является пенька неориентированная однотипная. Костра конопли может найти применение в производстве фармацевтических продуктов на основе лигнанов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Galkin M. V., Samec J. S. Lignin Valorization through Catalytic Lignocellulose Fractionation: A Fundamental Platform for the Future Biorefinery // *ChemSusChem*. 2016. Vol. 9, No 13. P. 1544–1558.
2. Chemicals from lignin: an interplay of lignocellulose fractionation, depolymerisation, and upgrading / W. Schutyser, T. Renders, S. van den Bosch, S. F. Koelewijn, G. T. Beckham, B. F. Sels // *Chemical Society Reviews*. 2018. Vol. 47, No 3. P. 852–908.
3. Кабунина И. В. Современный опыт и перспективы переработки технической конопли в России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021. Т. 64, № 6(384). С. 34–37.
4. Ranalli P., Venturi G. Hemp as a raw material for industrial applications // *Euphytica*. 2004. Vol. 140, No 1. P. 1–6.

5. Liberalato D. Prospect of hemp utilization in the European textile industry // *Agroindustria*. 2003. Vol. 2, No 3. P. 147–148.
6. Flores-Sanchez I. J., Verpoorte R. Secondary metabolism in cannabis // *Phytochemistry Reviews*. 2008. No 7. P. 615–639.
7. Isidore E., Karim H., Ioannou I. Extraction of Phenolic Compounds and Terpenes from Cannabis sativa L. By-Products: From Conventional to Intensified Processes // *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, No 6.
8. Russo E. B. Taming THC: potential cannabis synergy and phytocannabinoid-terpenoid entourage effects // *British Journal of Pharmacology*. 2011. Vol. 163. P. 1344–1364.
9. Effects of citrus fragrance on immune function and depressive states / T. Komori, R. Fujiwara, M. Tanida, J. Nomura, M. M. Yokoyama // *Neuroimmunology*. 1995. No 2. P. 174–180.
10. Arts I. C., Hollman P. C. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies // *American Journal of Clinical Nutrition*. 2005. Vol. 81. P. 317–325.
11. Andre C. M., Larondelle Y., Evers D. Dietary antioxidants and oxidative stress from a human and plant perspective: a review // *Current Nutrition & Food Science*. 2010. Vol. 6. P. 2–12.
12. Иванов А. Н. Физико-химические основы технологии приготовления льно-тресты : дис. ... д-ра техн. наук. Кострома, 1989. 535 с.
13. Усов А. И., Яроцкий С. В. Раздельное определение гексоз и пентоз при помощи *o*-толуидинового реагента // *Известия АН СССР. Серия химическая*. 1974. № 4. С. 877–880.
14. Белорусские ученые: Конопля способна очищать почву от загрязнения тяжелыми металлами и радиацией // *Все о конопле*. URL: <https://b.kannabizz.top/mir-o-marikhuane/belorusskie-uchenyekonoplya-sposobna-ochishhat-pochvu-ot-zagryazneniya-tyazhyolymi-metallami-i-radiaciej> (дата обращения: 02.11.2023).
15. В Йоханнесбурге исследуют применение конопли от промышленного загрязнения // *Информационно-аналитический ресурс о промышленности*. URL: <https://gmk.center/news/v-johannesburge-issledujut-primenenie-konopli-ot-promyshlennogo-zagryazneniya> (дата обращения: 02.11.2023).
16. Оценка уровня загрязнения почв г. Иваново тяжелыми металлами и нефтепродуктами / Д. В. Машкин, Т. В. Извекова, А. А. Гущин, В. И. Гриневич // *Известия вузов. Серия «Химия и химическая технология»*. 2017. Т. 60, вып. 5. С. 94–99.
17. ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах : утв. Приказом Минздрава России от 29.10.2015 № 771. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-13/1/1-5/1-5-3/1-5-3-9/?vers=858> (дата обращения: 20.12.2023).

## REFERENCES

1. Galkin M. V., Samec J. S. Lignin Valorization through Catalytic Lignocellulose Fractionation: A Fundamental Platform for the Future Biorefinery. *ChemSusChem*. 2016; 9,13:1544–1558.
2. Schutyser W., Renders T., Van den Bosch S., Koelewijn S. F., Beckham G. T., Sels B. F. Chemicals from lignin: an interplay of lignocellulose fractionation, depolymerisation, and upgrading. *Chemical Society Reviews*. 2018;47,3:852–908.
3. Kabunina I. V. Modern experience and prospects of processing technical cannabis in Russia. *Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal* [International agricultural journal]. 2021;64,6(384):34–37. (In Russ.)
4. Ranalli P., Venturi G. Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica*. 2004;140,1:1–6.
5. Liberalato D. Prospect of hemp utilization in the European textile industry. *Agroindustria*. 2003;2,3:147–148.
6. Flores-Sanchez I. J., Verpoorte R. Secondary metabolism in cannabis. *Phytochemistry Reviews*. 2008;7:615–639.
7. Isidore E., Karim H., Ioannou I. Extraction of Phenolic Compounds and Terpenes from Cannabis sativa L. By-Products: From Conventional to Intensified Processes. *Antioxidants*. 2021;10,6.
8. Russo E. B. Taming THC: potential cannabis synergy and phytocanna-binoid-terpenoid entourage effects. *British Journal of Pharmacology*. 2011;163:1344–1364.
9. Komori T., Fujiwara R., Tanida M., Nomura J., Yokoyama M. M. Effects of citrus fragrance on immune function and depressive states. *Neuroimmunology*. 1995;2:174–180.
10. Arts I. C., Hollman P. C. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2005;81:317–325.
11. Andre C. M., Larondelle Y., Evers D. Dietary antioxidants and oxidative stress from a human and plant perspective: a review. *Current Nutrition & Food Science*. 2010;6:2–12.

12. Ivanov A. N. *Fiziko-himicheskie osnovy tekhnologii prigotovleniya l'no-tresty* [Physico-chemical fundamentals of flax seed preparation technology]. Dr. tech. sci. diss. Kostroma, 1989. 535 p. (In Russ.)
13. Usov A. I., Yarockij S. V. Separate determination of hexose and pentose using an o-toluidine reagent. *Izvestiya AN SSSR. Seriya himicheskaya* [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences]. 1974;4:877–880. (In Russ.)
14. Belarusian scientists: Hemp is able to clean the soil from contamination by heavy metals and radiation. b.kannabizz.top. URL: <https://b.kannabizz.top/mir-o-marikhuane/belorussskie-uchenye-konoplya-sposobna-ochishhat-pochvu-ot-zagryazneniya-tyazhyolymi-metallami-i-radiaciej> (accessed 02.11.2023). (In Russ.)
15. Johannesburg investigates the use of cannabis from industrial pollution. GMK.center. URL: <https://gmk.center/news/v-johannesburge-issledujut-primenenie-konopli-ot-promyshlennogo-zagryazneniya> (accessed 02.11.2023). (In Russ.)
16. Mashkin D. V., Izvekova T. V., Gushchin A. A., Grinevich V. I. Assessment of the level of soil pollution in Ivanovo with heavy metals and petroleum products. *Izvestiya vuzov. Seriya "Himiya i himicheskaya tekhnologiya"* [ChemChemTech]. 2017;60,5:94–99. (In Russ.)
17. OFC.1.5.3.0009.15. *Opredelenie sodержaniya tyazhelyh metallov i mysh'yaka v lekarstvennom rastitel'nom syr'e I lekarstvennyh rastitel'nyh preparatah.* [Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials and medicinal herbal preparations]. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-13/1/1-5/1-5-3/1-5-3-9/?vers=858> (accessed 20.12.2023). (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 28.12.2023  
Принята к публикации 6.03.2024