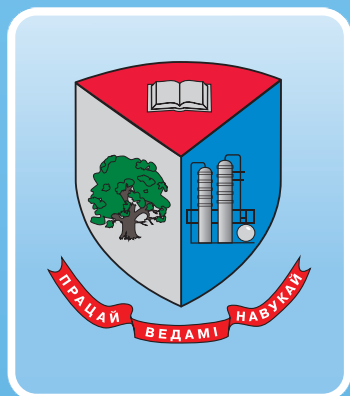


ISSN 2520-2669



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал



Серия 2

**ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ,
БИОТЕХНОЛОГИИ,
ГЕОЭКОЛОГИЯ**

№ 2 (259) 2022 год

Рубрики номера:

Химические технологии

Биотехнологии



Минск 2022

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года

Серия 2

**ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ,
БИОТЕХНОЛОГИИ,
ГЕОЭКОЛОГИЯ**

№ 2 (259) 2022 год

Выходит два раза в год

Минск 2022

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Главный редактор журнала – Войтов Игорь Витальевич, доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь

Редакционная коллегия журнала:

Шетько С. В., кандидат технических наук, доцент (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Жарский И. М., кандидат химических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Черная Н. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Прокопчук Н. Р., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Водошнянов П. А., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор философских наук, профессор, Республика Беларусь;
Новикова И. В., доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь;
Наркевич И. И., доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь;
Куликович В. И., кандидат филологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Барчик Стэфан, доктор наук, профессор, Словацкая Республика;
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;
Харша Ратнавира, доктор наук, профессор, Королевство Норвегия;
Пайвинен Ристо, доктор наук, профессор, Финляндская Республика;
Шкляр Б. Ш., профессор, Государство Израиль;
Кох Барбара, доктор наук, профессор, Федеративная Республика Германия;
Лакида П. И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Украина;
Головка М. Ф., член-корреспондент НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор, Украина;
Бир Петр, доктор технических наук, профессор, Республика Польша;
Савельев А. Г., кандидат технических наук, профессор, Латвийская Республика;
Агриракис Панос, доктор наук, Греческая Республика;
Горинштейн Ш., доктор наук, профессор, Государство Израиль;
Эркаев А. У., доктор технических наук, профессор, Республика Узбекистан;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Каклаускас А., доктор экономических наук, профессор, Литовская Республика;
Каухова И. Е., доктор фармацевтических наук, профессор, Российская Федерация;
Хассель Л. Г., доктор наук, профессор, Королевство Швеция;
Флюрик Е. А., кандидат биологических наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь.

Редакционная коллегия серии:

Прокопчук Н. Р., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор (главный редактор), Республика Беларусь;
Ещенко Л. С., доктор технических наук, профессор (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Цыганов А. Р., академик НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;
Левицкий И. А., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Вайтхович П. Е., доктор технических наук, доцент, Республика Беларусь;
Дормешкин О. Б., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Леонтьев В. Н., кандидат химических наук, доцент, Республика Беларусь;
Черная Н. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Паньков В. В., доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Богданова В. В., доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Воробьева Т. Н., доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Акулич П. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Яглов В. Н., доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Скрипюнас Г., доктор технических наук, профессор, Литовская Республика;
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;
Харша Ратнавира, доктор наук, профессор, Королевство Норвегия;
Поткин В. И., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, Республика Беларусь;
Круль Л. П., доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Решетников В. Н., академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Титок В. В., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Каухова И. Е., доктор фармацевтических наук, профессор, Российская Федерация;
Кузьминский Е. В., доктор химических наук, профессор, Украина;
Мосей Йозеф, хабилированный доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Польша;
Стоянов О. В., доктор технических наук, профессор, Республика Татарстан, Российская Федерация;
Карманова О. В., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Горинштейн Ш., доктор наук, профессор, Государство Израиль;
Эркаев А. У., доктор технических наук, профессор, Республика Узбекистан;
Барановская Е. И., кандидат технических наук (ответственный секретарь), Республика Беларусь;
Флюрик Е. А., кандидат биологических наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь.

Адрес редакции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

Телефоны: главного редактора журнала – (+375 17) 343-94-32;

главного редактора серии – (+375 17) 379-65-62.

E-mail: root@belstu.by, <http://www.belstu.by>

Свидетельство о государственной регистрации средств массовой информации

№ 1329 от 23.04.2010, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

Журнал включен в «Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований»

БИОТЕХНОЛОГИИ

BIOTECHNOLOGIES

УДК 547.913+665.53

И. С. Черней¹, Anastasiia Bekhter², В. Т. Чешевик¹, Krzysztof Śmigielski²

¹Полесский государственный университет

²Лодзинский технический университет (Республика Польша)

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ НА КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ *ARTEMISIA ABSINTHIUM* И *HUMULUS LUPULUS*

Эфирные масла представляют собой сложную комбинацию различных летучих веществ, состав которых зависит от вида и места произрастания растения. Большая часть компонентов эфирных масел используется в фармацевтике и здравоохранении, парфюмерной и косметической, пищевой и ликероводочной промышленности.

В работе приводятся данные о влиянии на компонентный состав эфирных масел *Artemisia absinthium* и *Humulus lupulus* процесса озонирования растительного сырья. Эфирное масло получали методом гидродистилляции с использованием модифицированного аппарата Деринга. Компонентный состав масла определяли методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Trace GC Ultra, сопряженном с DSQ II Mass Spectrometer с детектором ионизации MS-FID splitter. Растительное сырье помещали с дистиллированной водой в специальный реактор, через который пропускали озон. Процесс озонирования продолжался до тех пор, пока в реакторе концентрация озона не достигала 3 г/м³ для *Humulus lupulus* и 2 г/м³ для *Artemisia absinthium*. В результате озонирования растительного сырья наблюдали статистически достоверное уменьшение выхода эфирного масла на 42% для полыни горькой и на 31% – для хмеля обыкновенного, изменение качественного и количественного составов. После озонирования эфирное масло полыни горькой содержало 57% и хмеля обыкновенного – 71% новых компонентов, соответственно. Гумулен являлся преобладающим компонентом в эфирном масле хмеля, но в случае озонирования его количество снижалось на 70%. Преобладающим компонентом эфирного масла полыни горькой был мирцен (20%), содержание которого после озонирования снижалось в 5 раз.

Ключевые слова: эфирное масло, газовая хромато-масс-спектрометрия, озонирование, *Artemisia absinthium*, *Humulus lupulus*.

Для цитирования: Черней И. С., Anastasiia Bekhter., Чешевик В. Т., Krzysztof Smigielski. Влияние процесса озонирования на компонентный состав эфирных масел *Artemisia absinthium* и *Humulus lupulus*. Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (259). С. 182–190.

I. S. Cherney¹, Anastasiia Bekhter², V. T. Cheshchevik¹, Krzysztof Smigielski²

¹Polesky State University

²Lodz Technical University (Republic of Poland)

INFLUENCE OF THE OZONATION PROCESS ON THE COMPOSITION OF ESSENTIAL OILS OF *ARTEMISIA ABSINTHIUM* AND *HUMULUS LUPULUS*

Essential oils are a complex combination of various volatile substances, the composition of which depends on the type and location of the plant. Most of the components of essential oils are used in pharmacy and healthcare, perfumery and cosmetics, food and alcoholic beverage industries. The article presents data on the effect of the ozonization process of plant raw materials on the component composition of essential oils of *Artemisia absinthium* and *Humulus lupulus*. The essential oil was obtained by hydrodistillation using on a modified Dering apparatus. The component composition of the oil was determined by chromatato-mass spectrometry on a Trace GC Ultra gas chromatograph coupled to a DSQ II Mass Spectrometer with an MS-FID splitter ionization detector. Plant material was placed with distilled water into a special reactor through

which ozone was passed. The ozonation process continued until the ozone concentration in the reactor reached 3 g/m³ for *Humulus lupulus* and 2 g/m³ for *Artemisia absinthium*. As a result of ozonation of plant raw materials, a statistically significant decrease in the yield of essential oil by 42% for wormwood and 31% for hop was observed, as well as a change in the qualitative and quantitative composition. After ozonation, the essential oil of wormwood contained 57% and hop – 71% of new components, respectively. Humulene was the predominant component in the essential oil of hop, but in the case of ozonation, its amount decreased by 70%. The predominant component of the essential oil of wormwood is myrcene (20%), the content of which after ozonation decreased by 5 times.

Key words: essential oil, gas chromatography-mass spectrometry, ozonation, *Artemisia absinthium*, *Humulus lupulus*.

For citation: Cherney I. S., Anastasiia Bekhter., Cheshchevik V. T., Krzysztof Smigielski. Influence of the ozonation process on the composition of essential oils of *Artemisia absinthium* and *Humulus lupulus*. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 2 (259), pp. 182–190 (In Russian).

Введение. Большинство эфиромасличных растительных культур относятся к лекарственным растениям, которые находят применение как в народной, так и в официальной медицине, ароматерапии и ветеринарии [1]. Эфирные масла представляют собой смесь летучих ароматических веществ, образующихся в растениях и относятся главным образом к кислородсодержащим моно-, ди- и сесквитерпеноидам, реже – к алифатическим или ароматическим (фенольным) соединениям. Содержание эфирного масла в растениях колеблется от 0,001 до 20% (в расчете на сухое вещество) [2].

На накопление эфирных масел и их качественный состав влияют фаза вегетации, природные условия (количество солнечных дней, баланс температур, географическая широта, высота над уровнем моря, влажность, почвенно-трофические особенности региона). В частности, количество эфирного масла полыни горькой и полыни обыкновенной определяется периодом вегетации: в момент цветения выход эфирного масла увеличивается от 50 до 70% [2, 3]. Также известно, что образованию эфирных масел способствуют повышение температуры и кислородное голодание [1].

Эфирные масла широко применяются в косметической промышленности, так как обладают богатым запахом, что делает их востребованными в парфюмерии [4]. Активное использование выбранных эфирных масел наблюдается в фармацевтической и пищевой промышленности, что связано с многообразным компонентным составом [5].

Хмель обыкновенный (*Humulus lupulus*) и полынь горькая (*Artemisia absinthium*) в своем составе содержат различные биологически активные вещества, включая и эфирные масла. Содержание эфирного масла в хмеле обыкновенном колеблется в пределах 0,5–3,0%, в полыни горькой – 0,2–0,5% [6].

Большая часть эфирного масла *Humulus lupulus* состоит из углеводов и терпеноидов,

отношение 70 : 30 соответственно [7], иногда выделяют третью фракцию – серосодержащую [8]. Самыми распространенными компонентами в эфирном масле хмеля считаются монотерпеновые углеводороды с мирценом в качестве основного вещества и сесквитерпеновые углеводороды, такие как α -гумулен, β -кариофиллен, (E)- β -фарнезен [7]. Эфирное масло хмеля содержит различные группы полифенольных соединений с пренилфлавоноидами, которые являются наиболее ценными соединениями, так как обладают антиоксидантной, противовоспалительной и антипролиферативной активностью [9]. В табл. 1 представлены качественный и количественный составы эфирного масла хмеля обыкновенного, культивируемого на территории различных стран, являющихся лидерами по его производству в Европе [10–12].

Таблица 1

Качественный и количественный состав эфирного масла *Humulus lupulus*

Компоненты	Германия	Польша	Чехия
α -Пинен	0,1	0,3	–
β -Пинен	1,2	0,4	0,31
Сабинен	0,5	1,4	–
Мирцен	45,3	25,4	21,1
α -Терпинен	0,2	0,5	–
Лимонен	0,3	0,5	0,4
p-Цимен	0,6	1,0	–
Линалоол	0,2	1,1	0,66
Гераниол	1,7	1,5	0,51
α -Копаен	0,2	1,5	0,43
β -Кубебен	0,3	0,3	0,57
Кариофиллен	9,8	9,8	12,73
α -Гумулен	31,2	36,7	33,24
β -Селинен	0,6	1,2	3,42
α -Селинен	0,2	1,0	3,71
α -Кадинен	0,3	0,6	–
γ -Кадинен	0,4	5,5	1,48
δ -Кадинен	1,7	4,1	2,43
Кадинен	–	3,0	1,21
Кариофиллен оксид	0,2	0,3	–
β -Фарнезен	–	–	3,93

Как видно из таблицы, основными компонентами эфирного масла хмеля обыкновенного являются мирцен (21,1–49%), гумулен (12,21–36,7%) и кариофиллен (7,2–12,7%). В зависимости от состава эфирного масла представители вида *Artemisia* делятся на несколько хемотипов [13]. Разные хемотипы позволяют получить эфирное масло, отличающееся по составу. Так, основным компонентом эфирного масла из полыни горькой может быть одно из веществ: (Z)- β -эпоксицимен, (Z)-хризантенил ацетат, сабинил ацетат и β -туйон [14]. Хемотип туйона (*цис*- и *транс*-), а также сабинил ацетата преобладают в эфирных маслах, полученных из растений, произрастающих в странах Южной и Восточной Европы (Эстония, Франция, Бельгия, Греция, Италия, Сербия, Польша, Россия, Украина и др.), а также в США и Иране [15–17]. Эфирное масло полыни, выделенное из растений, собранных во Франции, отличается содержанием *цис*-хризантенола (69,0%) и *цис*-эпоксицимена (до 49,7%), с *цис*-хризантенил ацетатом (до 36,7%) соответственно [17–19].

Высокое содержание сабинена и мирцена зафиксировано в эфирном масле, полученном из растений, собранных в Эстонии, Венгрии, Шотландии и Молдове. Компонентный состав эфирного масла полыни горькой, произрастающей в различных регионах, представлен в табл. 2.

Данные демонстрируют, что процентное содержание основных компонентов в значительной степени определяется территорией произрастания. Особенностью эфирного масла является высокое содержание терпеновых углеводородов. Для изменения компонентного состава эфирных масел зачастую используют метод подбора оптимальных условий или селекцию отдельных видов

растений для получения максимального выхода необходимого компонента в эфирном масле [20]. Известно, что на процентный выход, как и на компонентный состав, влияют не только условия произрастания, но и то, какое растительное сырье использовалось: сырое или сухое [21]. Подбор условий культивирования и селекция сортов эфиромасличных растений – времязатратный и трудоемкий процесс. Поэтому актуальным является разработка химических и физических методов изменения состава эфирных масел, получаемых из растительного сырья. Химические или физические методы позволяют обогащать и изменять состав эфирных масел, получаемых из местного растительного сырья. Одним из таких методов химической модификации является озонирование, которое используется для сохранения микробиологической чистоты различных пряностей и трав. Установлено, что озонирование сырья из ягод можжевельника обыкновенного, которые обладают важными фармакологическими свойствами благодаря наличию биологически активных веществ (эфирных масел и полифенолов), приводит к существенным различиям в количестве некоторых компонентов. Так, количество α -пинена почти на 50% ниже по сравнению с контрольным образцом [22].

Применение озонирования обусловлено тем, что распад озона вызывает образование свободных радикалов (гидропероксила (HO_2), гидроксидов (OH) и супероксида (O_2^-)), обладающих более сильной окислительной способностью, чем озон, что, в свою очередь, приводит к химическому изменению в составе эфирных масел растительного сырья вследствие наличия значительного количества ненасыщенных связей [23].

Таблица 2

Качественный и количественный состав эфирного масла *Artemisia absinthium*

Компонентный состав	Сербия	Литва	Греция	Канада	Куба	Сибирь	Иран
1,8-Цинеол	8,15	3,60	8,90	1,0	2,65	7,97	3,25
Борнеол	–	–	–	–	2,40	0,45	13,0
Карвакрол	–	–	0,10	–	1,75	–	–
Хамазулен	0,50	0,80	2,90	0,30	0,13	6,35	1,10
Хризантенил ацетат	4,40	–	–	–	–	–	–
Камфора	–	–	0,10	0,10	–	0,17	5,10
Линалоол	2,05	2,40	2,60	4,60	1,00	2,50	–
Мирцен	1,15	4,65	0,10	10,80	0,54	11,90	–
p-Цимен	3,60	0,80	0,10	1,20	2,08	–	8,30
Сабинен	2,90	3,96	0,10	1,60	2,31	2,81	0,90
Сабинил ацетат	7,75	32,01	–	26,40	18,40	–	–
Терпинен-4-ол	1,15	1,01	0,10	1,70	4,10	0,59	1,35
α -Туйон	1,80	11,80	–	0,10	0,58	4,30	1,65
β -Туйон	31,7	15,50	–	10,10	0,29	4,50	17,5
β -Пинен	1,70	5,30	2,10	0,10	0,62	0,17	3,60

Принимая во внимание все выше изложенное, была поставлена цель работы – исследовать изменения компонентного состава эфирных масел полыни горькой и хмеля обыкновенного при применении процесса озонирования как перспективного метода химической модификации состава эфирных масел. Использование растительного сырья полыни горькой и хмеля обыкновенного обусловлено их широкими перспективами в пищевой и фармацевтической промышленности.

Основная часть. Эфирное масло из исходного и модифицированного методом озонирования растительного сырья получали с помощью гидродистилляции с использованием модифицированного аппарата Деринга [24]. В качестве исследуемого сырья брали траву полыни горькой (*Artemisia absinthium*) (Zakład Zielarski Kawon-Hurt Nowak Sp. J., Польша, 03.2020) и шишки хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus*) (Zakład Konfekcjonowania Ziół FLOS Elżbieta i Jan Głęb, Польша, 01.2021).

Качественный и количественный составы эфирных масел определяли с помощью газового хроматографа Trace GC Ultra, сопряженного с DSQ II Mass Spectrometer с детектором ионизации MS-FID splitter (Thermo Fisher Scientific, США). Неполярная капиллярная колонка (60 м × 0,25 мм × 0,25 мкм), активная фаза Rtx-1 1 ms Restek. Анализ был выполнен при следующих температурных параметрах: начальная температура 50°C на протяжении 3 мин, далее температура повышалась на 4°C/мин до 310°C. Газ-носитель – гелий с постоянным давлением 300 кПа. Объем пробы эфирного масла *Artemisia absinthium* – 0,5 мкл, эфирного масла *Humulus lupulus* – 0,3 мкл. Компонентный состав полученных эфирных масел определяли путем сравнения их масс-спектров со спектрами базы данных NIST MS Search 2.0 и по индексу удержания в колонке [26].

В реактор помещали 50 г сухого размолотого растительного сырья и 500 мл дистиллированной воды. Концентрация озона в реакторе составляла 99–101 г/м³. Процесс озонирования продолжался до тех пор, пока в реакторе концентрация озона не достигнет 3 г/м³ для *Humulus lupulus* и 2 – г/м³ для *Artemisia absinthium*. Для каждого образца озонирование проводилось в трехкратном повторении, после чего осуществлялось получение эфирного масла. Проверяли изменения компонентного состава, дополнительно определяя рН растворов сырья перед и после процесса внедрения озона.

Для озонирования использовали систему, представленную на рис. 1.

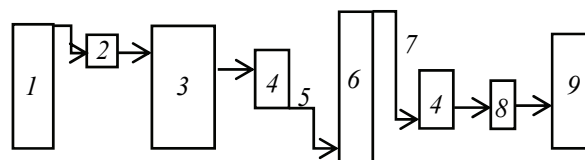


Рис. 1. Блок-схема процесса озонирования растительного сырья:

1 – баллон с газом; 2 – фильтр озона;
3 – генератор озона; 4 – анализатор входа и выхода озона; 5 – вход озона; 6 – реактор; 7 – выход озона;
8 – удаление избыточного газа;
9 – нейтрализатор озона

Статистический анализ проводили методами вариационной статистики при помощи дисперсионного анализа с последующим попарным сравнением экспериментальных групп данных. Во избежание погрешностей эксперименты выполнялись в трехкратном повторении. Различия между исследованными группами признавались статистически достоверными при $p < 0,05$. Результаты представлены как средние арифметические ± стандартная ошибка среднего (SEM). Статистическая обработка проведена с использованием программы статистического анализа GraphPad Prism7.

Результаты. При использовании метода гидродистилляции для выделения эфирных масел наблюдали, что процесс озонирования приводил к статистически достоверному уменьшению выхода эфирного масла для полыни горькой на 42%, а для хмеля обыкновенного – 31%, что, вероятно, обусловлено нарушением структуры компонентов и связано с процентным выходом эфирного масла (табл. 3).

Таблица 3

Процентный выход эфирного масла *Artemisia absinthium* и *Humulus lupulus* в результате процесса озонирования растительного сырья

Процентный выход	Тип сырья	
	<i>Artemisia absinthium</i>	<i>Humulus lupulus</i>
Нативное сырье	0,323 ± 0,022	0,29 ± 0,025
Озонированное сырье	0,187 ± 0,035*	0,20 ± 0,020*

* $p < 0,005$ – статистически достоверно по отношению к группе с нативным сырьем.

Дополнительно в результате озонирования происходит модификация компонентов эфирного масла путем введения в их структуру гидроксильных групп, что вызывает понижение водородного показателя в сторону кислой среды (табл. 4).

Изменения качественного и количественного компонентных составов эфирных масел хмеля обыкновенного и полыни горькой подтверждаются результатами газовой хромато-масс-спектрометрии.

Таблица 4
Водородный показатель растворов *Artemisia absinthium* и *Humulus lupulus* в результате озонирования

рН раствора	Тип сырья	
	<i>Artemisia absinthium</i>	<i>Humulus lupulus</i>
Нативное сырье	7,10 ± 0,023	5,637 ± 0,027
Озонированное сырье	4,248 ± 0,024*	3,646 ± 0,017*

* $p < 0,005$ – статистически достоверно по отношению к группе с нативным сырьем.

В нативном сырье *Artemisia absinthium* было обнаружено 146 компонентов, из них идентифицировано 50 компонентов, массовая доля которых составляет 95%. Преобладающим компонентом является мирцен, его содержание достигало 20%. Также наблюдается высокое содержание сабинена и сабинил ацетата – в среднем до 10%. Содержание компонентов линалоол, β -туйон, β -кариофиллен, гермакрен D, хамазулен, геранил- α -терпинен и геранил- p -цимол в среднем не превышает 1,5%.

В модифицированном сырье полыни горькой было обнаружено – 243 компонента, из которых было идентифицировано 77 компонентов, их массовая доля составила 89%. На рис. 2 представлены основные компоненты эфирного масла полыни горькой, полученного до и после про-

цесса озонирования. Содержание остальных соединений сократилось в целом на 30%.

В нативном сырье хмеля обыкновенного было обнаружено – 132 компонента, из которых определен 31 компонент, массовая доля их составила 91%. Преобладающим компонентом в эфирном масле хмеля обыкновенного является гумулен, содержание которого составляет 26,7% (рис. 3). Также были определены компоненты, содержание которых не превышает 10%: к ним относились мирцен и кариофиллен. Содержание гумулен эпоксида II, кариофиллен оксида, β -кариофиллена, геранил изобутирата, γ -кадинена, 4-деценовой кислоты, α -мирцена, δ -кадинена не превышает 1,5% от общего количества компонентов.

После процесса озонирования в эфирном масле хмеля было обнаружено 168 компонентов, из которых определены 57 компонентов, массовая доля их составила 94%. После процесса озонирования в эфирном масле наблюдается снижение основного компонента – гумулена, а β -кариофиллен и α -мирцен вообще не были обнаружены. Наблюдается снижение содержания гумулена на 70%, а также гумулен эпоксида на 64%.

В то же время отмечена зависимость между отсутствием содержания β -кариофиллена в эфирном масле хмеля обыкновенного и повышением содержания кариофиллен оксида на 62%, что обусловлено структурным сходством данных соединений. В частности, молекулы β -кариофиллена и кариофиллен оксида отличаются только содержанием атома кислорода, появление которого связано с воздействием озона на растительное сырье.

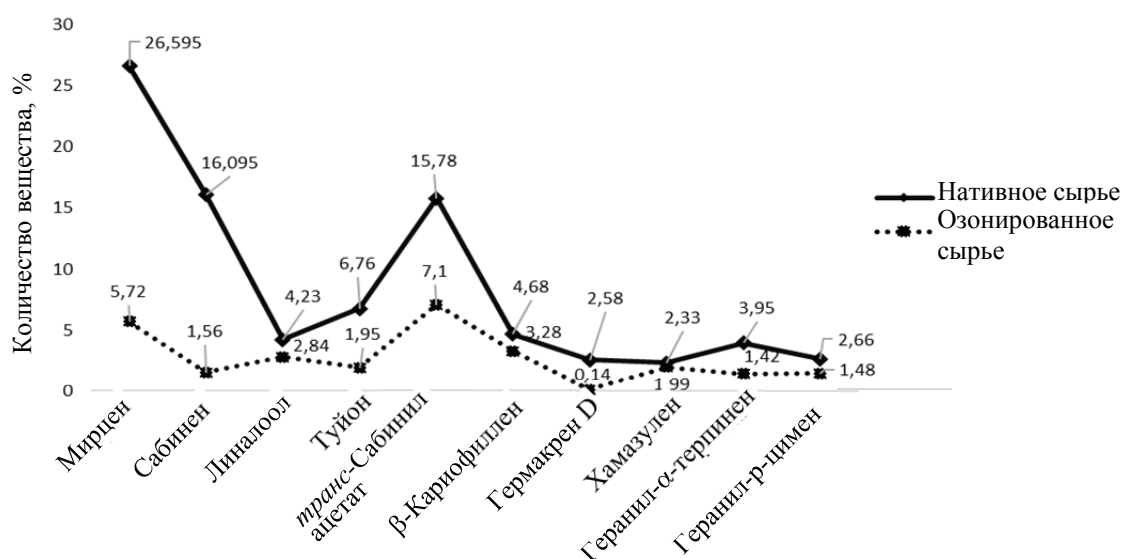


Рис. 2. Компонентный состав нативного и модифицированного методом озонирования эфирного масла *Artemisia absinthium*

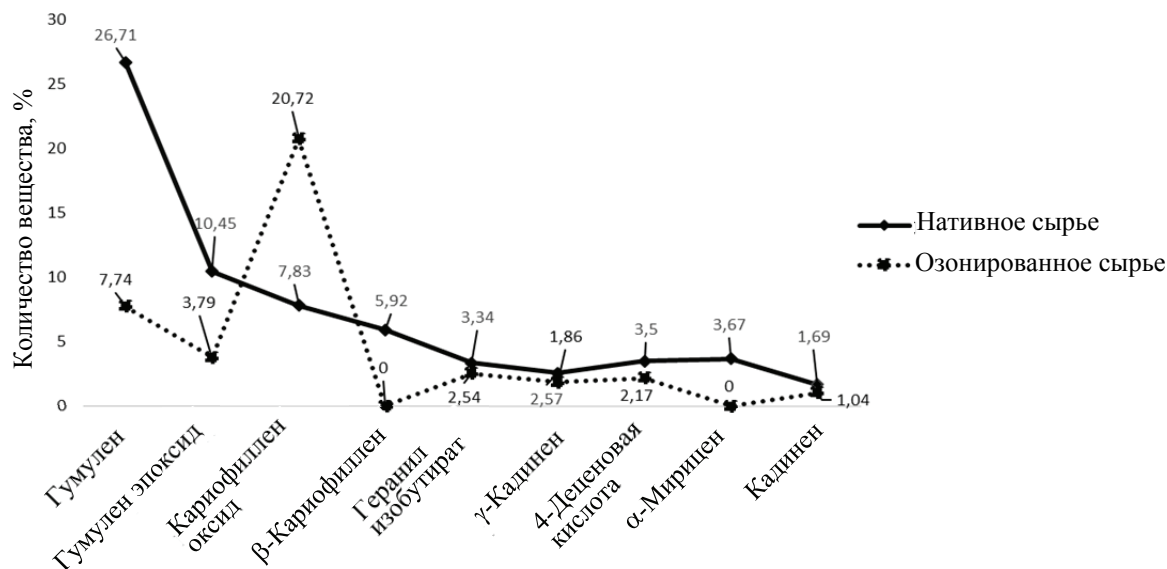


Рис. 3. Компонентный состав нативного и модифицированного методом озонирования эфирного масла *Humulus lupulus*

Таким образом, в результате озонирования растительного сырья в эфирном масле *Artemisia absinthium* увеличилось содержание новых компонентов на 57%, а в эфирном масле *Humulus lupulus* – на 71%. Следствием показанной значительной модификации состава эфирных масел в результате озонирования может являться изменение их биологической активности в результате появления новых компонентов или изменения соотношения компонентов, которые могут являться перспективными для последующего исследования.

Заключение. Преобладающим компонентом эфирного масла *Artemisia absinthium* выступает мирцен (до 20% от общего содержания). Отличительной особенностью также является высокое содержание сабинена и сабинил ацетата (в среднем до 10%). Преобладающим компонентом в эфирном масле *Humulus lupulus* считается гумулен (до 21% от общего содержания).

В результате озонирования происходит уменьшение выхода эфирного масла из растительного сырья полыни горькой на 42% и хмеля обыкновенного – на 31%, что обусловлено разрушением структуры компонентов. Кроме того, наблю-

дали значительное изменение количественного соотношения основных компонентов и появление новых соединений. В эфирном масле полыни горькой, выделенном из исходного растительного сырья, было обнаружено 146 компонентов, из которых идентифицировали 50 с суммарной массовой долей содержания 95%. После озонирования сырья в эфирном масле наблюдали увеличение количества компонентов в 1,6 раза. В эфирном масле хмеля обыкновенного, выделенном из исходного растительного сырья, было обнаружено 132 компонента, из которых идентифицировали 31 компонент с суммарной массовой долей содержания 91%. После озонирования сырья наблюдали увеличение количества компонентов в 1,3 раза.

Таким образом, химическая модификация путем озонирования исходного растительного сырья может являться перспективным методом изменения количественного и качественного составов эфирных масел, обогащения определенными специфическими компонентами, что может иметь определенное промышленное значение, а также позволяет модулировать биологическую активность эфирных масел.

Список литературы

1. Корсакова С. П. Реакция многолетних эфиромасличных культур на изменения климата в условиях Южного берега Крыма // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. Ялта, 2018. № 146. С. 61–71.
2. Карпук В. В. Фармакогнозия: Минск: БГУ, 2011. 340 с.
3. Семитко И. С. Сравнительная характеристика влияния вида и периода вегетации на объем выделяемого эфирного масла из *Artemisia Absinthium* и *Artemisia vulgaris* // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы XI Международной молодежной научно-практической конференции. В 2 ч. Пинск, 2017. Ч. 1. С. 342–343.
4. Grau Essential Oil of Hop Cones (*Humulus lupulus* L.) / A. Rubén [et al.] // Journal of Essential Oil Research, 1999. Vol. 11:1. P. 13–15 DOI: 10.1080/10412905.1999.9701056.

5. Chemical Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Wormwood (*Artemisia absinthium* L.) Essential Oils and Phenolics / K. Msaada [et al.] // Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry. 2015. Vol. 2015. P. 1–12 DOI: 10.1155/2015/804658.
6. Podeszwa T., Harasym J. New methods of hopping (dryhopping) and their impact on sensory properties of beer // Acta Innovations. 2016. No. 21. P. 81–88.
7. Composition and In Vitro Effect of Cultivars of *Humulus lupulus* L. Hops on Cholinesterase Activity and Microbial Growth / J. Kobus-Cisowska [et al.] // Nutrients. 2019. No. 11(6). P. 1377–1381 DOI: 10.3390/nu11061377.
8. Variability of Volatiles of Wild Hops (*Humulus lupulus* L.) Growing in Eastern Lithuania / D. Mockute [et al.] // Journal of Essential Oil Research. 2008. Vol. 20:2. P. 96–101 DOI: 10.1080/10412905.2008.9699963.
9. Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five health and infected polish cultivars / L. Pistelli [et al.] // Industrial Crops and Products. 2018. Vol. 124. P. 653–662. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.08.009.
10. Jirovetz L. Antimicrobial testings, gas chromatographic analysis and olfactory evaluation of an essential oil of hop cones (*Humulus lupulus* L.) from Bavaria and some of its main compounds // Scientia Pharmaceutica. 2006. No. 74. P. 189–201. DOI: 10.3797/scipharm.2006.74.189.
11. Characterisation of four popular Polish hop cultivars / M. Leonardi [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. 2013. No. 48. P. 1770–1774. DOI: 10.1111/IJFS.12150.
12. Diversity of wormwood (*Artemisia absinthium* L.) growing wild in Poland in respect of the content and composition of essential oil and phenolic compounds / A. Geszprych [et al.] // Acta horticulturae 2011. No. 925. P. 123–129. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.925.16.
13. Composition of the essential oil of *Artemisia absinthium* L. of different geographical origin / A. Orav [et al.] // Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. 2006. No. 55(3). P. 155–165.
14. Variability of essential oil composition of wormwood (*Artemisia absinthium* L.) affected by plant organ / J. A. Llorens-Molina [et al.] // Journal of Essential Oil Research. 2017. Vol. 29:1. P. 11–21. DOI: 10.1080/10412905.2016.1202152.
15. Khalilov L. M., Paramonov E. A., Identification and biological activity of volatile organic compounds emitted by plants and insects // U. M IV. Composition of vapor isolated from certain species of Artemisia plants. Chem. Nat. Compd. 2001. 37 (4). P. 339–342. DOI: 10.1007/BF02282508.
16. Новые данные по химическому составу эфирного масла *Artemisia absinthium* L. Сибирской флоры / М. А. Ханина [и др.] // Химия растительного сырья. 2000. № 3. С. 33–40.
17. Composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Artemisia absinthium* from Croatia and France / F. Juteau [et al.] // Planta Medica. 2003. No. 69. P. 158–161. DOI: 10.1055/s-2003-37714.
18. Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five healthy and infected Polish cultivars / L. Pistelli [et al.] // Industrial Crops and Products. 2018. Vol. 124. P. 653–662. DOI: 10.1016/J.INDCROP.2018.08.009.
19. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. M. Idaomar Biological effects of essential oils – A review // J. Food Chem. 2008. Vol. 46. P. 446–475. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.106.
20. Мягких Е. Ф., Марченко М. П., Новиков И. А. Сравнительный анализ гибридов *Origanum vulgare* L. по комплексу признаков // Таврический вестник аграрной науки. 2018. Т. 2, № 14. С. 89–95. DOI: 10.25637/TVAN.2018.02.08.
21. Изменение состава эфирного масла при разных сроках хранения сырья / А. В. Ткачев [и др.] // Химия растительного сырья. 2002. № 1. С. 19–30.
22. The Impact of Ozone Treatment in Dynamic Bed Parameters on Changes in Biologically Active Substances of Juniper Berries / A. J. Brodowska [et al.] // PLoS ONE. 10 (12): e0144855. DOI: 10.1371/journal.pone.0144855.
23. Brodowska A. J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview // Crit Rev Food Sci Nutr. 2018. 58 (13). P. 2176–2201.
24. Влияние эфирных масел *Artemisia absinthium* и *Humulus lupulus* на динамику митохондриального мембранного потенциала клеток *S. cerevisiae* / И. С. Семитко [и др.] // Сборник научных трудов. 2021. С. 465–473. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_465.

References

1. Korsakova S. P. The response of perennial essential oil crops to climate change in the conditions of the southern coast of Crimea. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada no. 146* [Collection of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden]. Yalta, 2018, no. 146, pp. 61–71 (In Russian).

2. Karpuk V. V. *Farmakognoziya* [Pharmacognosy]. Minsk, BGU Pubb., 2011. 340 p. (In Russian).
3. Semitko I. S. Comparative characteristics of the influence of the species and the growing season on the amount of essential oil extracted from *Artemisia Absinthium* and *Artemisia vulgaris*. *Nauchnyy potentsial molodezhi – budushchemu Belarusi: materialy XI Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The scientific potential of youth – the future of Belarus: materials of the XI International Youth Scientific and Practical Conference]. Pinsk, 2017, part 1, pp. 342–343 (In Russian).
4. Rubén A. M., José S. M., Daniel A. C., Ricardo J. A. Grau Essential Oil of Hop Cones (*Humulus lupulus* L.). *Journal of Essential Oil Research*, 1999, vol. 11:1, pp. 13–15. DOI: 10.1080/10412905.1999.9701056.
5. Msaada K., Salem N., Bachrouh O., Bousselmi S., Tammar S., Chemical Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Wormwood (*Artemisia absinthium* L.) Essential Oils and Phenolics. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*, 2015, vol. 2015, pp. 1–12. DOI: 10.1155/2015/804658.
6. Podeszwa T., Harasym J. New methods of hopping (dryhopping) and their impact on sensory properties of beer. *Acta Innovations*, 2016, no. 21, pp. 81–88.
7. Kobus-Cisowska J., Szymanowska-Powalowska D., Szczepaniak O., Kmiecik D., Przeor M., Gramza-Michalowska A., Szulc P. Composition and In Vitro Effect of Cultivars of *Humulus lupulus* L. Hops on Cholinesterase Activity and Microbial Growth. *Nutrients*, 2019, no. 11(6), pp. 1377–1381. DOI: 10.3390/nu11061377.
8. Mockute D., Bernotiene G., Nivinskiene O., Butkiene R. Variability of Volatiles of Wild Hops (*Humulus lupulus* L.) Growing in Eastern Lithuania. *Journal of Essential Oil Research*, 2008, vol. 20:2, pp. 96–101. DOI: 10.1080/10412905.2008.9699963.
9. Pistelli L., Ferria B., Cionia P.L., Koziara M., Agacka M., Skomra U. Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five health and infected polish cultivars. *Industrial Crops and Products*, 2018, vol. 124, pp. 653–662. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.08.009.
10. Jirovetz L. Antimicrobial testings, gas chromatographic analysis and olfactory evaluation of an essential oil of hop cones (*Humulus lupulus* L.) from Bavaria and some of its main compounds. *Scientia Pharmaceutica*, 2006, no. 74, pp. 189–201. DOI: 10.3797/scipharm.2006.74.189.
11. Michele L., Skomra U., Agacka M., Stochmal A., Ambryszewska K., Oleszek W., Flamini G., Pistelli L. Characterisation of four popular Polish hop cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 2013, no. 48, pp. 1770–1774. DOI: 10.1111/IJFS.12150.
12. Geszprych A., Przybył J.L., Kuczerenko A., Węglarz Z. Diversity of wormwood (*Artemisia absinthium* L.) growing wild in Poland in respect of the content and composition of essential oil and phenolic compounds. *Acta horticulturae*, 2011, no. 925, pp. 123–129. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.925.16.
13. Orava A., Raalb A., Arakb E., Müüriseppa M., Kailasa T. Composition of the essential oil of *Artemisia absinthium* L. of different geographical origin. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem*, 2006, no. 55 (3), pp. 155–165.
14. Llorens-Molina J.A, Vacas S, Castell V., Németh-Zámboriné E. Variability of essential oil composition of wormwood (*Artemisia absinthium* L.) affected by plant organ. *Journal of Essential Oil Research*, 2017, vol. 29:1, pp. 11–21. DOI: 10.1080/10412905.2016.1202152.
15. Khalilov L. M. Paramonov E.; Khalilova A. Identification and biological activity of volatile organic compounds emitted by plants and insects. *U. M IV. Composition of vapor isolated from certain species of Artemisia plants. Chem. Nat. Compd*, 2001, vol. 37 (4), pp. 339–342. DOI: 10.1007/BF02282508.
16. Khanina M. A., Serykh E. A., Pokrovskii L. M., Tkachev A. V. New data on the chemical composition of the essential oil of *Artemisia absinthium* L. Siberian flora. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2000, no. 3, pp. 33–40 (In Russian).
17. Juteau F. Composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Artemisia absinthium* from Croatia and France. *Planta Medica*, 2003, no. 69, pp. 158–161. DOI: 10.1055/s-2003-37714.
18. Pistelli L., Ferria B., Cioni P.L., Koziara M., Agacka M., Skomra U. Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five healthy and infected Polish cultivars. *Industrial Crops and Products*, 2018, vol. 124, pp. 653–662 (19). DOI: 10.1016/J.INDCROP.2018.08.009.
19. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils – A review. *J. Food Chem*, 2008, vol. 46, pp. 446–475. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.106.
20. Myagkih E. F., Marchenko M. P., Novikov I. A. Comparative analysis of hybrids of *Origanum vulgare* l. according to a set of signs. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science], 2018, vol. 2, no. 14, pp. 89–95. DOI: 10.25637/TVAN.2018.02.08 (In Russian).
21. Tkachev A.V. Koroliuk E. A., IUsubov M. S., Gurev A. M. Changing the composition of the essential oil at different periods of storage of raw materials. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2002, no. 1, pp. 19–30 (In Russian).

22. Brodowska A.J., Śmigielski K., Nowak A., Czyżowska A., Otlewska A. The Impact of Ozone Treatment in Dynamic Bed Parameters on Changes in Biologically Active Substances of Juniper Berries. *PLoS ONE*. 10 (12): e0144855. DOI: 10.1371/journal.pone.0144855.

23. Brodowska A. J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, no. 58(13), pp. 2176–2201.

24. Semitko I. S. Cheshchevik V. T., Bekhter A. Śmigielski K. Effect of essential oils of *Artemisia absinthium* and *Humulus lupulus* on the dynamics of the mitochondrial membrane potential of *S. cerevisiae*. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific papers], 2021, pp. 465–473. DOI: 10.52101/9785870191003_2021_465 (In Russian).

Информация об авторах

Черней Ирина Сергеевна – магистр биологических наук, аспирант. Полесский государственный университет (225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23, Республика Беларусь). E-mail: semitcko.i@yandex.ru

Bekhter Anastasiia – магистр технических наук, аспирант. Лодзинский технический университет (90-924, г. Лодзь, ул. Жеромского, 116, Республика Польша). E-mail: megwilyas@yandex.ru

Чещевик Виталий Тадеушевич – кандидат биологических наук. Полесский государственный университет (225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23, Республика Беларусь). E-mail: cheshchevik.v@polessu.by

Śmigielski Krzysztof – профессор, доктор технических наук. Лодзинский технический университет (90-924, г. Лодзь, ул. Жеромского, 116, Республика Польша). E-mail: krzysztof.smigielski@p.lodz.pl

Information about the authors

Cherney Irina Sergeyevna – Master of Biological Sciences, PhD student. Polessky State University (23, Dneprovskoy flotilii str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: semitcko.i@yandex.ru

Bekhter Anastasiia – Master of Engineering, PhD student. Lodz Technical University (116, Zeromskiego str., 90-924, Lodz, Republic of Poland). E-mail: megwilyas@yandex.ru

Cheshchevik Vitaliy Tadeushevich – PhD (Biological). Polessky State University (23, Dneprovskoy flotilii str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: cheshchevik.v@polessu.by

Śmigielski Krzysztof – Professor, DSc (Engineering). Lodz Technical University (116, Zeromskiego str., 90-924, Lodz, Republic of Poland). E-mail: krzysztof.smigielski@p.lodz.pl

Поступила 22.03.2022

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	5
Савчук Г. К., Летко А. К., Шичкова Т. А. Влияние условий получения на физические свойства пьезокерамик различного назначения	5
Шашок Ж. С. Влияние условий термомеханической обработки на технические свойства резин на основе бутилового регенерата	13
Люштык А. Ю., Каюшников С. Н., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Кротова О. А., Лешкевич А. В. Особенности диспергирования кремнекислотных наполнителей в эластомерных композициях на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков	19
Волчек О. М., Высоцкая Н. А. Влияние модификаторов на физико-химические свойства гранулированного галургического хлорида калия	26
Кожемяко А. А., Дубоделова Е. В., Гончар А. Н., Шпак С. И. Повышение эффективности производства древесноволокнистых плит средней плотности	32
Шрубок А. О., Хаппи Вако Б. Ж. Оценка степени кристалличности мелкодисперсных порошков вторичного полиэтилентерефталата методом ИК-спектроскопии	41
Степанович Ю. А., Шрубок А. О. Влияние добавок полиэтилена на структуру и свойства СБС-модифицированных битумов	49
Лукаш Е. В., Шалухо Н. М., Качурина В. С. Получение и исследование свойств безводного метасиликата натрия	56
Шалухо Н. М., Булай Т. В., Лукаш Е. В., Южик А. В. Получение бетона с использованием серного кека	64
Черная Н. В., Герман Н. А., Гордейко С. А., Чернышева Т. В., Мисюров О. А., Дашкевич С. А. Энергосберегающая технология диспергирования волокнистого сырья при изготовлении высококачественных видов бумаги и картона	72
Черная Н. В., Герман Н. А., Чернышева Т. В., Дашкевич С. А. Особенности структуры и свойств проклеивающих комплексов при гидрофобизации бумаги и картона нейтральными и высокосмоляными канифольными эмульсиями	79
Барановская Е. И., Мечай А. А., Волочко А. Т., Гусаров С. Использование добавки доломита в технологии автоклавного ячеистого бетона	94
Мечай А. А., Барановская Е. И., Попова М. В. Композиционный портландцемент с использованием минеральных добавок на основе природного сырья	100
Ланкин Р. И., Францкевич В. С. Гидравлическое сопротивление абсорбера с подвижной шаровой насадкой	107
Гаврилюк А. Н., Дормешкин О. Б., Русак И. А. Исследование особенностей сернокислотного разложения различных марок марокканских фосфоритов	115
Грушова Е. И., Киселёв В. О., Жолнеркевич В. И., Горащук Ю. А. Особенности термоокислительного воздействия на состав высокоароматизированных побочных нефтепродуктов	127
Клюев А. Ю., Пучкова Н. В., Прокопчук Н. Р. Исследование свойств и разработка технологии смазочно-охлаждающей жидкости на водной основе СОЖ ЛХ-2 с применением аддукта ОКМА	132
Кротова О. А., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Грушова Е. И., Богданович Д. А., Жолнеркевич В. И. Влияние пластифицирующих добавок на свойства эластомерных композиций	143
Крук Н. Н. Изменение энтропии активации протонирования макроцикла свободного основания 21-СН ₃ -октаэтилпорфирина в нижнем возбужденном синглетном S ₁ состоянии	150
Боброва В. В., Прокопчук Н. Р., Ефремов С. А., Нечипуренко С. В. Свойства эластомерных композиций, наполненных углерод-кремнистым композитом	156

Трубицын М. А., Фурда Л. В., Воловичева Н. А., Лисняк В. В. Исследование влияния дефлокулянтов на реологическое поведение суспензий α -оксида алюминия.....	165
Азаров С. М., Дробыш А. А., Евтухова Т. Е., Балыдко Д. Н., Гамзелева Т. В. Формирование регулярной структуры пор в микрофильтрационных материалах из алюмооксидных микросфер и марганецсодержащих алюмосиликатных композиций	175
БИОТЕХНОЛОГИИ.....	182
Черней И. С., Bekhter Anastasiia, Чещевик В. Т., Śmigielski Krzysztof. Влияние процесса озонирования на компонентный состав эфирных масел <i>Artemisia absinthium</i> и <i>Humulus lupulus</i>	182
Санько А. Г., Стасевич О. В. Хроматографический анализ потожировых следов человека.....	191
Рымовская М. В., Раткевич М. В., Петрушеня А. Ф., Гребенчикова И. А., Рагатка Д. А. Состав полимерной матрицы биоразлагаемой упаковки.....	195