



Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online).

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>



UDC 66.061.34

SOLVENT SELECTION FOR EXTRACTION OF TARGET COMPONENTS FROM AMBER

Valentyn M. Chornyi*, Taras H. Mysiura, Nataliia V. Popova, Volodymyr L. Zaviyalov

National University of Food Technologies, 68 Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine

Received 22 October 2020; accepted 22 March 2021; available online 25 April 2021

Abstract

Amber (succinite) is a potential source of a natural biologically active components complex that are promising to use for its intended purpose in various industries. In the presented work a wide range of multipolar solvents for extraction of target components from amber of Volyn region (Ukraine) is investigated, their influence on efficiency of this process and qualitative characteristics of the received extract is noted. For a number of organic solvents, the extraction efficiency of soluble solids as a quantitative characteristic of the solvent was studied. According to this indicator, the best extractants are white spirit, ethanol, acetone and petroleum ether. As an indicator of the quantitative efficiency of extraction of dyes represented in the raw material by the fraction of the resin, it is possible to use the optical density value of the extracts, with the highest values obtained in the case of acetone and ethanol. The redox potential value of the obtained extracts increases in the extraction process with all solvents except water, with which this indicator did not change. The change in color and structure of the obtained meal is illustrated by photographs of the appearance of amber after extraction. Low polar solvents, such as acetone and ethanol, which can remove both hydrophilic and hydrophobic substances, have been found to be most effective for extraction of target components from amber. In industries that work with technologies and products with high safety requirements, it is advisable to use ethanol to extract the target components from amber.

Keywords: extraction; amber; succinite; solvent; fossil resin.

ПІДБІР РОЗЧИННИКА ДЛЯ ЕКСТРАГУВАННЯ ЦІЛЮВИХ КОМПОНЕНТІВ З БУРШТИНУ

Валентин М. Чорний, Тарас Г. Мисюра, Наталія В. Попова, Володимир Л. Зав'ялов

Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, Київ, 01601, Україна

Анотація

Бурштин (сукцинит) є потенційним джерелом комплексу натуральних біологічно активних компонентів, які перспективно використовувати за цільовим призначенням у різних галузях промисловості. У представленій роботі досліджується широкий спектр різнополярних розчинників для екстрагування цільових компонентів з бурштину Волинського видобутку (Україна), відзначається їх вплив на ефективність даного процесу та якісні характеристики отриманого екстракту. Для ряду органічних розчинників досліджено ефективність вилучення розчинних сухих речовин як кількісної характеристики розчинника. За таким показником встановлено, що найкращими екстрагентами є уайт спірит, етанол, ацетон та петролейний етер. Як показник кількісної ефективності вилучення забарвлених речовин, що представлені в сировині фракцією смоли, можна використовувати величину оптичної густини екстрактів, при цьому найбільш високі її значення отримано у випадку ацетону та етанолу. Величина окисно-відновного потенціалу одержаних екстрактів збільшується в процесі екстрагування усіма розчинниками окрім води, з якою цей показник не змінювався. Зміну кольору та структури отриманого шроту ілюстровано фотографіями зовнішнього вигляду бурштину після екстрагування. Встановлено, що найбільш ефективними для екстрагування цільових компонентів з бурштину є малополярні розчинники, такі як ацетон та етанол, які в змозі вилучати як гідрофільні, так і гідрофобні речовини. У галузях, що працюють з технологіями та продуктами з високими вимогами до безпечності, для екстрагування цільових компонентів з бурштину доцільно використовувати етанол.

Ключові слова: екстрагування; бурштин; сукцинит; розчинник; скам'яніла смола.

*Corresponding author: tel.: +380442879758; e-mail: val.chor@ukr.net

© 2021 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/082106

ПОДБОР РАСТВОРИТЕЛЯ ДЛЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ЯНТАРЯ

Валентин Н. Черный, Тарас Г. Мисюра, Наталья В. Попова, Владимир Л. Завьялов

Национальный университет пищевых технологий, ул. Владимирская, 68, Киев, 01601, Украина

Аннотация

Янтарь (сукцинит) является потенциальным источником комплекса натуральных биологически активных компонентов, которые перспективно использовать по целевому назначению в различных отраслях промышленности. В представленной работе исследован широкий спектр разнополярных растворителей для экстрагирования целевых компонентов из янтаря Волынской добычи (Украина), отмечено их влияние на эффективность данного процесса и качественные характеристики полученного экстракта. Для ряда органических растворителей исследована эффективность извлечения растворимых сухих веществ как количественной характеристики растворителя. По такому показателю установлено, что лучшими экстрагентами являются уайт-спирит, этанол, ацетон и петролейный эфир. Как показатель количественной эффективности извлечения красящих веществ, представленных в сырье фракцией смолы, можно использовать величину оптической плотности экстрактов, при этом наиболее высокие ее значения получены в случае ацетона и этанола. Величина окислительно-восстановительного потенциала полученных экстрактов увеличивается в процессе экстрагирования всеми растворителями, кроме воды, с которой этот показатель не менялся. Изменение цвета и структуры полученного шрота иллюстрировано фотографиями внешнего вида янтаря после экстрагирования. Установлено, что наиболее эффективными для экстрагирования целевых компонентов из янтаря являются малополярные растворители – ацетон и этанол, которые извлекают как гидрофильные, так и гидрофобные вещества. В отраслях, работающих с технологиями и продуктами с высокими требованиями к безопасности, для экстрагирования целевых компонентов из янтаря целесообразно использовать этанол.

Ключевые слова: экстрагирование; янтарь; сукцинит; растворитель; окаменелая смола.

Вступ

Розвиток харчової, косметичної та фармацевтичної промисловостей постійно потребує розробки та виробництва нового асортименту продукції, яка має поліпшені споживчі характеристики та фізіологічну цінність. Продукти переробки бурштину, зокрема екстракти з нього, завдяки своєму хімічному складу володіють функціональним впливом на організм людини та характеризуються особливими органолептичними показниками, що в комплексі покращує властивості кінцевого продукту. Це дозволяє розглядати бурштин як потенційну сировину для створення перспективної високоцінної продукції.

Разом з тим існує потреба у дослідженні безпосередньо процесу екстрагування та знаходженні ефективних способів одержання екстрактів із бурштину. Оскільки цільові компоненти бурштину (бурштинова кислота, етерова олія, розчинні смоли) можуть бути вилучені різними розчинниками, необхідно провести підбір екстрагента, який матиме високу ефективність та задовольнятиме потреби різних галузей, що є актуальним завданням для вирішення питань переробки в промисловості та подальшого розвитку питання екстрагування цільових компонентів з бурштину.

Як відомо, процес екстрагування залежить від багатьох чинників, одним з яких є

раціональний вибір розчинника для повноцінної її переробки. З огляду на поставлені цілі з вилучення цільових компонентів з сировини, обирають спосіб екстрагування та екстрагент, які зможуть надати оптимальні результати переробки [1–4].

Сучасна структура світового споживання продукції з натурального бурштину [5] наступна:

1) До 30 % займає ринок ювелірних виробів з натурального бурштину.

2) Близько 27 % ринку займає продукція з плавленого технічного бурштину, яка використовується на виробництві лаків і фарб, а також у парфумерній промисловості. Біологічні добавки і лікарські препарати, косметологічна продукція, основним компонентом яких є бурштин, користуються високим попитом на світовому ринку.

3) Близько 14 % продукції з натурального бурштину використовується у фармакології, машинобудуванні та деревообробній промисловості.

4) 10 % займає ринок натуральної бурштинової кислоти для потреб харчової промисловості.

5) До 10 % потребує ринок натуральної бурштинової олії для косметичної промисловості.

Отже, у світі зберігається потреба в бурштиновій кислоті, бурштиновій олії,

пресованому бурштині, а також іншій технічній продукції на основі переробки дрібних фракцій бурштину [6]. Таким чином, проблема переробки бурштину в продукти, які можна використовувати в різних галузях промисловості, є актуальною [7; 8].

Частка бурштину (близько 60–70 % його видобутку), що не підлягає ювелірному використанню, переробляється хімічним способом для одержання бурштинової кислоти, етерової олії та легкоплавкої та легкокорозійної каніфолі. Для цього бурштин спалюють за високих температур, утворені гази конденсують та переробляють як (на?) бурштинову кислоту та етерову олію, а розплавлений залишок використовують для виготовлення цінного бурштинового лаку [9]. Пошук раціональних способів переробки бурштину, прийнятних для використання його продуктів у харчовій, фармацевтичній, косметичній галузях, потребує поглибленого вивчення процесу його екстрагування з метою виділення цільових компонентів з цієї сировини.

З робіт [10–12] відомі способи отримання екстрактів із бурштину. В роботі [10] пропонується використовувати бурштин для надання продукту поліпшених органолептичних показників та насичення бурштиновою кислотою. Автори задля досягнення мети екстрагують цільові компоненти бурштину водно-спиртовим розчином із застосуванням ультразвукового перемішування. Також у документі наводяться дані вмісту біологічно активних речовин у горілках та бурштинових настоянках, які були отримані на основі водно-спиртової суміші 10 об.% та 90 об.%.

Інша робота, [11], презентує результати хроматографічних досліджень екстрактів із бурштину, що отримані надкритичною флюїдною CO₂-екстракцією. До того ж автори додають хроматограми розчину лужного екстракту із порошка бурштину, зразка екстракту з бурштину з солкеталем та екстракту з етиловим спиртом. Стверджується, що вміст бурштинової кислоти в зразках коливався від 6 до 20 мг/г бурштину з максимальною концентрацією у CO₂-екстрактах. Хроматографічний аналіз екстрактів також показав, що вони містять: складові етерових олій, а саме терпени і терпеніоїди; складні етери – лактони, високомолекулярні спирти; бурштинова кислота та інші природні органічні компоненти.

Також відомо, що функціонує виробництво екстрактів з бурштину, яке використовує метод електромагнітних імпульсів потужністю 38 000 вольт [12]. За цих умов корисні речовини з бурштину переводять у спеціальний харчовий розчин та після ретельного фільтрування отримують готовий екстракт високої концентрації. На жаль, повної інформації про цей метод немає, тому до цього часу поки не відома природа розчинника, який використовують в цьому способі виробництва.

На основі всієї зібраної інформації можна зробити висновок, що дослідження екстракційних властивостей різномірних розчинників у процесах переробки бурштину були проведені недостатньо та неповно.

Метою роботи є визначення раціонального розчинника для ефективного вилучення комплексу цільових компонентів із бурштину при його екстрагуванні в системі рідина — тверде тіло, що дозволить вперше отримати такі результати щодо цієї сировини.

Експериментальна частина

Сировиною для дослідження виступала скам'яніла смола хвойних дерев (сукцинит) Волинського видобутку. Камені бурштину розділяли на фракції за геометричними розмірами за допомогою набору сит. Для досліджень була відібрана фракція 2.5 мм, що утворилася проходом сита з діаметром отворів 3 мм та сходом сита 2 мм.

Підбір екстрагента для забезпечення глибини вилучення комплексу цільових компонентів і максимальної швидкості екстрагування зі скам'янілої смоли проводили з огляду на властивості розчинника. Зважаючи на попередньо відомий цільовий склад твердої фази [18; 19], слід враховувати властивості речовин, що розчиняються в розчинниках різної полярності. Оскільки в сировині одночасно наявні гідрофільні та гідрофобні цільові компоненти, варто обрати такий екстрагент, що розчиняє такі речовини одночасно. Бурштинова кислота розчиняється у воді та спирті, а гідрофобні речовини — олія та смоли — добре розчинні в неполярних розчинниках, які мають малі значення діелектричної сталості. З огляду на таку інформацію, нами були досліджені розчинники, які можна розділити за своєю полярністю: полярні — вода, гліцерин; малополярні — етанол, ацетон; неполярні — гексан, гас, уайт спірит, петролейний етер.

Ефективність екстрагування тим чи іншим розчинником оцінювали за наступними

показниками: вміст сухих речовин, окисно-відновний потенціал (ОВП), оптична густина екстракту. Вміст сухих речовин дозволяє охарактеризувати кількісну сторону процесу [20; 21], тобто перевірити, яка кількість оптично видимих сухих компонентів сировини буде розчинена в об'ємі середовища. Активність електронів визначається величиною і знаком ОВП, який є мірилом активності електронів у окисно-відновних реакціях, тому вказує на біологічну активність та антиоксидантну властивість системи [22]. Оптична густина екстракту свідчить про інтенсивність його забарвлення, яке залежить від кількості розчинених смол бурштину.

Умови екстрагування для всіх розчинників були однаковими. Тривалість екстрагування – 1 година, гідромодуль – 10. Процес відбувався за температури кипіння розчинника: для води – 89 °С, для етанолу – 72 °С, гліцеролу – 270 °С, гексану – 62 °С, петролейного етеру – 45 °С, ацетону – 52 °С, гасу – 135 °С, уайт спіриту – 66 °С. Оскільки процес відбувався у скляній колбі із зворотним холодильником для конденсації парів розчинника та повернення їх у загальний реакційний об'єм (рис. 1), створювались умови для зниження температури кипіння розчинників.

У випадку екстрагування гасом, температура якого була дещо вищою

температури плавлення бурштину, частинки подрібненого бурштину розплавлялися, ставали пластичними і злипалися між собою.

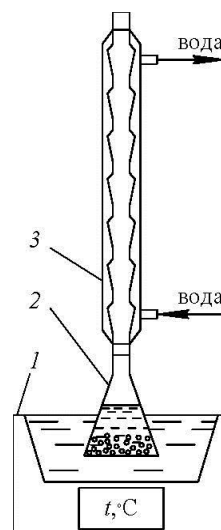


Fig. 1. The scheme of the laboratory installation: water bath (1); flask with raw material and solvent (2); condenser (3)

Рис. 1. Схема лабораторної установки: водяна баня (1); колба з сировиною та розчинником (2); зворотній холодильник (3)

Результати та їх обговорення

Рефрактометричним методом визначено вміст сухих речовин (табл. 1), що є кількісною характеристикою ефективності розчинника.

Table 1

Dry matter content in extracts ($p \leq 0.05$, $n = 3$), %

Таблиця 1

Вміст сухих речовин в екстрактах ($p \leq 0.05$, $n = 3$), %

White spirit	Ethanol	Acetone	Petroleum ether	Kerosene	Glycerin	Water	Hexane
3	2.1	2	2	1	1	0.1	0.1

Найвищий вміст сухих речовин в екстрактах отримано у разі застосування уайт спіриту, який являє собою суміш вуглеводнів.

За кількісною характеристикою ефективності – вмістом сухих речовин, – можна відзначити високе вилучення уайт спіритом, який являє собою суміш вуглеводнів. Також достатнє значення

вилучених сухих речовин проявили етанол, ацетон та петролейний етер.

Значення окисно-відновного потенціалу (ОВП) фіксували у чистому екстрагенті та у готовому екстракті. На рис. 2. надані результати визначення редокс-потенціалу та вказана зміна цього показника до та після екстрагування.

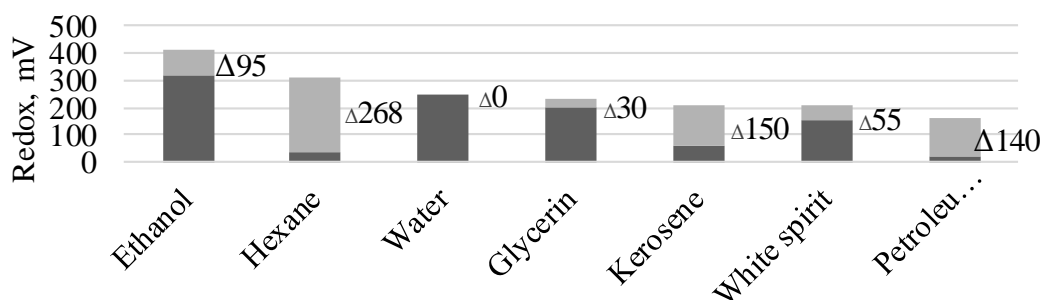


Fig. 2. Change of redox potential of extractant and extract from different solvents ($p \leq 0.05$, $n = 3$)
Рис. 2. Зміна редокс-потенціалу екстрагенту та екстракту в різних розчинниках ($p \leq 0.05$, $n = 3$).

Показник ОВП екстракту зростав у всіх дослідах, що пояснюється насиченням екстракту бурштиновою кислотою. Оскільки відомо, що зі зміною рН, та, відповідно, вмісту органічних кислот в екстракті, змінюється природа хімічних частинок, то змінюється і вигляд узагальненого електрохімічного рівняння взаємодії, що відображає залежність окисно-відновного потенціалу від рН середовища [14].

Визначення цього показника для ацетону ускладнюється агресивністю розчинника щодо матеріалу вимірювального пристрою, тому значення показника ОВП для цього розчинника не визначалося.

Нами було проведено визначення оптичної густини на фотоколориметрі марки КФК-3, використовували пластикові кювети товщиною 5 мм. Дослідження спектральної ділянки було в межах довжин хвиль 310–750 нм. Результати представлені на рис. 3.

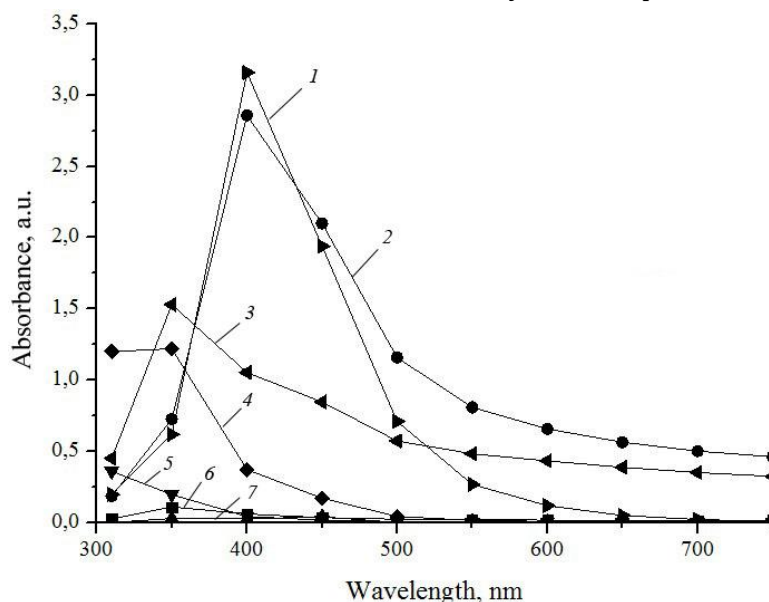


Fig. 3. Dependence of the optical density value of amber extract on the wavelength for different solvents ($p \leq 0.05$, $n = 3$): acetone (1); ethanol (2); kerosene (3); white spirit (4); petroleum ether (5); water (6); hexane (7)

Рис. 3. Залежність величини оптичної густини екстракту з бурштину від довжини хвилі для різних розчинників ($p \leq 0.05$, $n = 3$): ацетон (1); етанол (2); гас (3); уайт спірит (4); петролейний етер (5); вода (6); гексан (7).

З результатів, наданих на рис. 3, чітко видно, що найвищі показники оптичної густини дають ацетон та етанол із застосуванням світлофільтру з довжиною хвилі 400 нм. Інші розчинники мають пікові

значення оптичної густини зі світлофільтром 350 нм. Ці результати можна використовувати для подальших визначень вмісту сухих речовин в екстракті, оскільки ці показники між собою корелюють [15–17].

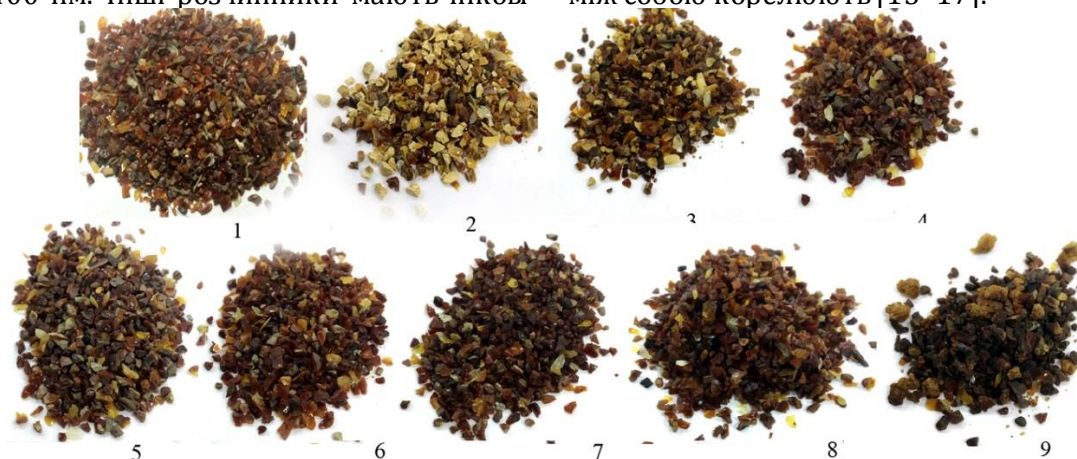


Fig. 4. Appearance of samples before (1) and after extraction: with water (2); ethanol (2); hexane (3); acetone (4); petroleum ether (5); white spirit (6); glycerin (7) kerosene (8).

Рис. 4. Зовнішній вигляд зразків до (1) та після екстрагування: водою (2); етанолом (3); гексаном (4); ацетоном (5); петролейним етером (6); уайт спіритом (7); гліцерином (8); гасом (9).

Після екстрагування сировина змінювала свій вигляд і структуру, що можна спостерігати на рис. 4. Таку зміну шроту варто враховувати при його подальшій переробці в ювелірній галузі способом високо-температурного пресування

З рис. 4. видно, що найбільшу зміну в кольорі має шрот, отриманий після екстрагування водою та менше – спиртом. Після екстрагування гасом деякі частинки бурштину були сплавлені між собою та утворили пінисту структуру, а весь шрот став помітно темнішим за вихідний бурштин. Всі інші зразки, оброблені розчинниками, не мають помітних змін у своєму вигляді та структурі.

Висновки

Вперше досліджено вплив різних розчинників, які використовуються в якості екстрагентів, на характеристики отриманих екстрактів з бурштину, що дозволить обирати оптимальний розчинник для ефективного вилучення комплексу цільових компонентів із цієї сировини за вимог певної галузі народного господарства.

Встановлено, що для екстракційного вилучення цільових компонентів з бурштину найбільш придатними є малополярні розчинники, однак використання ацетону, пропанолу, бутанолу є недоцільним з огляду на їх небезпечність для харчової, фармацевтичної, косметичної промисловостей. Раціональним розчинником, що задовольняє вимоги індиферентності, безпечності, доступності і дозволяє в повній мірі провести процес екстрагування комплексу цільових компонентів є етанол. Отримання спиртового екстракту спрощує його подальше використання в будь-якій промисловій галузі.

Використання екстрактів зі скам'янілих смол, що мають функціональне значення за наявності високого вмісту бурштинової кислоти, дозволяє розширити асортимент харчової продукції цільового призначення, виробляти лікарські препарати та косметичні засоби цільового призначення. Для цього доцільно проводити екстрагування із застосуванням етанолу з метою раціонального, економічного та ефективного вилучення комплексу цільових компонентів з дотриманням токсикологічних вимог.

Отримані результати дозволяють розвинути подальшу теорію та практику щодо питання екстракційної переробки бурштину з

метою застосування його у виробництві перспективної продукції.

Bibliography

- [1] Rezaei M. Phytochemical, antioxidant and antibacterial properties of extracts from two spice herbs under different extraction solvents / M. Rezaei, A. Ghasemi Pirbalouti // Food Measurement and Characterization. – 2019. – Vol. 13. – P. 2470–2480.
- [2] Effect of extraction methodologies and solvent selection upon cynaropicrin extraction from *Cynara cardunculus* leaves / T. Brás, L. A. Neves, J.G. Crespo, M. F. Duarte // Separation and Purification Technology. – 2020. – Vol. 236.
- [3] Solvent selection for efficient extraction of bioactive compounds from grape pomace / D. Pintac, T. Majkic, L. Torovic [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 111. – P. 379–390.
- [4] Influence of solvent selection and extraction temperature on yield and composition of lipids extracted from spent coffee grounds / I. Efthymiopoulos, P. Hellier, N. Ladommatos [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 119. – P. 49–56.
- [5] Малашенков Б. М. Янтарная отрасль Российской Федерации и мировой рынок янтаря / Б. М. Малашенков // Государственное управление: электронный вестник. – 2018. – N 69. – С. 103–126.
- [6] Langenheim J. Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany / J. Langenheim. – Portland: Timber Press Inc, 2003. – 586 p.
- [7] Characteristics and application of Baltic amber in pharmaceutical and cosmetic industries / L. Synoradzki, J. Arct, S. Safarzyński [et al.] // Przemysl Chemiczny. – 2012. – Vol. 91, Issue 1. – P. 89–94.
- [8] Preliminary investigation into the antimicrobial activity of an electrospun polyamide nanofibrous web with micro particles of Baltic amber / D. Mikučionienė, R. Milašius, R. Daugelavičius [et al.] // Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2016. – Vol. 24, Issue 5. – P. 34–37.
- [9] Савкевич С.С. Янтарь / С.С. Савкевич. – Л.: Недра, 1970. – 192 с.
- [10] Пат. 108098 Україна, МПК С 12 G 3/00. Горілка «Бурштинівка» / Симха Г.В. (Україна); заявник та патентовласник ТОВ «Центр «Сонячне Ремесло» (Україна). – № u 2016 04903; заявл. 04.05.2016; опубл. 24.06.16. Бюл. № 12. – 5 с.
- [11] Комплекс біологічно-активних сполук бурштину: спосіб отримання, властивості та застосування / О.Л. Міронов, Н.М. Качалова, О.І. Дзюба, С.Л. Богза // Сучасні аспекти збереження здоров'я людини: збірник праць X Міжнарод. міждисцип. наук.-прак. конф. – Ужгород. – 2017. – С. 247–251.
- [12] Федосеева Е. Бывает ли мёд из янтаря? / Е. Федосеева // Аргументы и факты. – 2017. – N 81.
- [13] Сребродольский Б.И. Янтарь Украины: монография / Б.И. Сребродольский. – К.: Наукова думка, 1980. – 124 с.
- [14] Блажеєвський М. Окисно-відновний потенціал системи пероксомоносульфат/сульфат та його залежність від рН середовища / М. Блажеєвський, О. Коретнік // Праці НТШ Хім. Біохім. – 2013. – Vol. 33. – С. 28–34.
- [15] Spectral correlation analysis of chlorophyll-a concentration for inland water / P. Huang, G. Wen, Z. Shang [et al.] // 10th International Congress on Image

- and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). – Shanghai. – 2017. – P. 1–5.
- [16] Rao B. Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activities using aqueous *Eriobotrya japonica* leaf extract / B. Rao, R-Ch. Tang // *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. – Vol. 8, N 1. – 2017.
- [17] Koldaev V. M. Numerical indicators of absorption spectra of green leaf extract obtained from plants of different life forms / V. M. Koldaev, A. Y. Manyakhin // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2018. – Vol. 203. – P. 404–407.
- [18] Makarova E.Y. Investigation of fossil resins and amber / E.Y. Makarova, E.E. Maslova, J. Marek // *Georesursy*. – 2017. – Vol. 19, Special Issue. – P. 249–255.
- [19] Bioactivity of Baltic amber – fossil resin / P. Tumiłowicz, L. Synoradzki, A. Sobiecka [et al.] // *Polimery*. – 2016. – N 5. – P. 347–356.
- [20] What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods / G. Angeloni, L. Guerrini, P. Masella [et al.] // *Food Research International*. – 2019. – Vol. 116. – P. 1327–1335.
- [21] The effect of extraction techniques on yield, extraction kinetics, and antioxidant activity of aqueous-methanolic extracts from nettle (*Urtica dioica* L.) leaves / L.P. Stanojevic, M.Z. Stankovic, D.J. Cvetkovic [et al.] // *Separation Science and Technology*. – 2016. – Vol. 51, N 11. – P. 1817–1829.
- [22] Yang Z. Reducing capacities and redox potentials of humic substances extracted from sewage sludge / Z. Yang, M. Du, J. Jiang // *Chemosphere*. – 2016. – Vol. 144. – P. 902–908.
- [6] Langenheim, J. (2003). *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany*. Portland, Cambridge: Timber Press Inc.
- [7] Synoradzki, L., Arct, J., Safarzyński, S., Hajmowicz, H., Sobiecka, A., Dankowska, E. (2012). Characteristics and application of Baltic amber in pharmaceutical and cosmetic industries. *Przemysł Chemiczny*, 91(1), 89–94.
- [8] Mikučionienė, D., Milašius, R., Daugelavičius, R., Ragelienė, L., Venslauskaitė, N., Ragaišienė, A., Rukuižienė, Ž. (2016) Preliminary investigation into the antimicrobial activity of an electrospun polyamide nanofibrous web with micro particles of Baltic amber. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 24(5), 34–37. <https://doi.org/10.5604/12303666.1215524>
- [9] Savkevich, S.S. (1970). [*Yantar*]. Leningrad, USSR: Nedra (in Russian).
- [10] Simkha, G.V., (2016). *Ukraine Patent No. 108098*. Kyiv, Ukraine. Ukrainian Institute of Industrial Property.
- [11] Mironov, O.L., Kachalova, N.M., Dzyuba, O.I., Bogza, S.L. (2017). Complex of biologically active amber compounds: method of production, properties and application // *Modern aspects of human health: proceeds of X International. interdisciplinary. sci.-pract. conf.* 247–251 (in Ukrainian).
- [12] Fedoseeva, E. (2017). Is there honey from amber?. *Argumenty i fakty*, 81 (in Russian).
- [13] Srebrdolsky, B.I. (1980). [*Amber of Ukraine*]. Kyiv, USSR: Naukova dumka (in Russian).
- [14] Blazheevskiy, M., Koretnik, O. (2013). Oxidation-reduction potential of peroxomonosulphate/sulphate system and its dependence on pH medium. *Proc. Shevchenko Sci. Soc. Chem. Biochem*, 33, 28–34 (in Ukrainian).
- [15] Huang, P., Wen, G., Shang, Z., Zhang, C., Lin, Z., Zhang, J. (2017). Spectral correlation analysis of chlorophyll-a concentration for inland water. 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), 1–5. <https://doi.org/10.1109/CISP-BMEI.2017.8302033>
- [16] Rao, B., and Tang, R-Ch. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activities using aqueous *Eriobotrya japonica* leaf extract. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 8(1), 015014. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aa5983>
- [17] Koldaev, V. M., Manyakhin, A. Y. (2018). Numerical indicators of absorption spectra of green leaf extract obtained from plants of different life forms. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 203, 404–407. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.019>
- [18] Makarova, E.Y., Maslova, E.E., Marek, J. (2017). Investigation of fossil resins and amber. *Georesursy*, 19, 249–255. <http://doi.org/10.18599/grs.19.24>
- [19] Tumiłowicz, P., Synoradzki, L., Sobiecka, A., Arct, J., Pytkowska, K., Safarzyński, S. (2016). Bioactivity of Baltic amber – fossil resin. *Polimery*, 5, 347–356. <http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2016.347>
- [20] Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Bellumori, M., Daluiso, S., Parenti, A., Innocenti, M. (2019). What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods. *Food Research International*, 116, 1327–1335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.022>
- [21] Stanojevic, L.P., Stankovic, M.Z., Cvetkovic, D.J., Cacic, M.D., Ilic, D.P., Nikolic, V.D., Stanojevic, J.S. (2016). The effect of extraction techniques on yield, extraction kinetics, and antioxidant activity of aqueous-methanolic

References

extracts from nettle (*Urtica dioica L.*) leaves. *Separation Science and Technology*, 51(11), 1817–1829.
<https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1178774>

[22] Yang, Z., Du, M., Jiang, J. (2016). Reducing capacities and redox potentials of humic substances extracted from sewage sludge. *Chemosphere*, 144, 902–908.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.03>