

Экстрагирование из янтарного сырья в условиях электроискрового воздействия

В. Н. Черный^{а*}, С. В. Петриченко^б, Т. Г. Мисюра^а, Н. В. Попова^а, В. Л. Завьялов^а

^аНациональный университет пищевых технологий, г. Киев, 01033, Украина

^бИнститут импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев, 54018, Украина

*e-mail: val.chor@ukr.net

Поступила в редакцию 10.12.2020

После доработки 12.03.2021

Принята к публикации 15.03.2021

Представлены результаты экстрагирования целевых компонентов из янтаря, который подвергался высоковольтной электроимпульсной обработке для интенсификации их извлечения. Такой способ обработки позволил достичь высокой степени измельчения материала и появления дополнительных микро- и макропор, что увеличило суммарную площадь контакта фаз, необходимую для эффективного процесса экстрагирования из сырья. Обработка проводилась в камерах высоковольтного импульсно-периодического генератора при емкостях накопителя 0,25 и 1,0 мкФ, с выходным напряжением 50 кВ и разным количеством импульсов для соответствующей емкости конденсатора. Для исследований были выбраны камни янтаря со средним размером частей 8,2 мм. Процесс осуществлялся в спиртовой среде при разных электрических характеристиках. В результате получены зависимости изменения содержания сухих веществ, общей минерализации, содержания органических кислот, активной кислотности pH и оптической плотности в экстракте от количества разрядов при разной энергии импульса. Определена плотность янтаря до и после обработки, что указывает на способность электроискровых разрядов создавать дополнительную пористость материала, необходимую для обеспечения эффективного внутреннего массопереноса. Результаты работы могут быть использованы для промышленной реализации электроискровой переработки янтаря с целью получения экстрактов с комплексом полезных веществ, применяемых в пищевой, фармацевтической, косметической отраслях.

Ключевые слова: янтарь, экстрагирование, электроискровой разряд, ископаемая смола, твердое тело-жидкость, пористость

УДК 537.528: 66.061.34

<https://doi.org/10.52577/eom.2021.57.5.58>

ВВЕДЕНИЕ

Янтарь по своему химическому составу имеет большое количество янтарной кислоты, эфирных масел, микро- и макроэлементов, которые содержатся в смоле. Такое сырье можно рассматривать как источник ценных компонентов для пищевого, фармацевтического, косметического [1] и даже текстильного производства [2].

Камни, которые не пригодны для использования в ювелирной отрасли, а это около 70% общей добычи, поддаются переработке. Некоторую часть плавят и прессуют для производства ювелирных украшений [3, 4]. Остальное перерабатывают для получения натуральной янтарной кислоты и янтарного масла путем высокотемпературного пиролиза с дальнейшей химической очисткой [5].

Перспективным способом переработки янтаря может быть его экстрагирование с целью извлечения комплекса ценных компонентов сырья и получения качественного экстракта, пригодного к широкому использованию в продуктах, контактирующих с человеком. При этом процесс экстрагирования полезных веществ янтаря может быть применен как

промежуточный перед его переработкой на ювелирные камни. Предыдущими исследованиями установлено, что янтарь хорошо экстрагируется малополярными растворителями, которые эффективно извлекают гидрофильные и гидрофобные вещества янтаря. Однако использование этилового спирта будет рациональнее, учитывая его малотоксичность в сравнении с другими малополярными растворителями. Поэтому в качестве экстрагента янтаря выбран этиловый спирт. Следует отметить, что использование воды для экстрагирования компонентов из янтаря нецелесообразно, поскольку выход сухих веществ из сырья в таком экстрагенте отсутствует.

На сегодняшний день вопрос экстрагирования компонентов из янтаря достаточно не изучен. Известно о способах экстрагирования компонентов из янтаря в поле ультразвуковых колебаний [6], при применении надкритической флюидной экстракции CO₂ [7], а также упоминается об электроискровом экстрагировании компонентов из янтаря на сайтах компаний производителей, но научные результаты этого процесса не отмечены.

Интенсифицирующее действие электроискровой обработки твердофазного сырья на

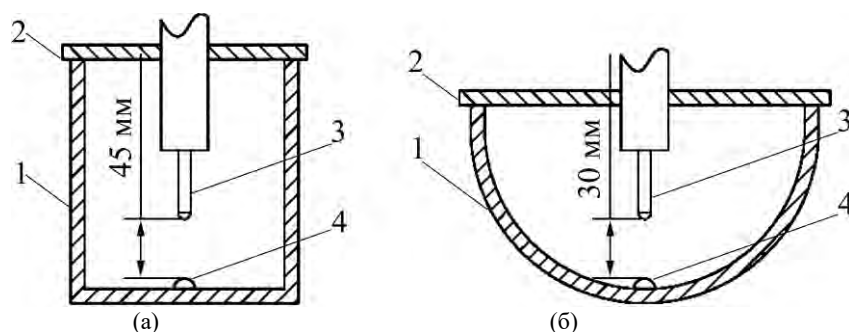


Рис. 1. Схема цилиндрической камеры с емкостью конденсатора 1,0 мкФ (а) и полуцилиндрической горизонтальной камеры с конденсатором 0,25 мкФ (б); 1 – корпус камеры; 2 – крышка; 3 – высоковольтный (острийковый) электрод; 4 – заземленный противоэлектрод.

процесс экстрагирования достаточно широко изучено, но только в контексте применения к растительному материалу [9–12]. При этом в исследованиях измельчения минеральных ископаемых электроискровыми разрядами отмечается, что в результате такой обработки материала образуются новые микро- и макропоры, что определяется увеличением общей пористости твердого тела [13–16]. Это в свою очередь позволяет создать дополнительную площадь контакта фаз, необходимую для осуществления эффективной диффузии.

Цель работы – исследование процесса экстрагирования целевых компонентов из янтаря при воздействии на сырье электроискровых импульсов и подводимой энергии в рабочий объем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях использовался янтарь, добытый в Волынской области Украины. Сырье, взятое для экспериментов, имело средний геометрический размер фракции 8,2 мм, которая отбиралась сходом сита с отверстиями диаметром 6 мм и проходом сита с отверстиями 12 мм.

Эксперименты выполняли с применением генератора импульсных токов (ГИТ), подключенного к электродной системе разрядных камер (рис. 1), в рабочем объеме которых осуществлялось экстрагирование. Генератор импульсных токов (импульсно-периодический по режиму работы) состоял из токоограничивающего дросселя, выпрямителя-трансформатора масляного, конденсатора и управляемого воздушного искрового разрядника (коммутатора). Использовались конденсаторы номиналом 0,25 и 1,0 мкФ. ГИТ обеспечивал рабочее напряжение 50 кВ с энергией в разрядном импульсе 312,5 и 1250 Дж в зависимости от номинала используемого конденсатора. Управление коммутатором осуществлялось путем подачи на него высоковольтного импульса с блока поджига, ведомого выходными сигналами

стандартного генератора прямоугольных (сдвинутых) импульсов. Во всех экспериментах топология соединительных проводов (индуктивность разрядного контура) не менялась. Использовалась электродная система типа острие–плоскость. Острием был высоковольтный электрод, состоящий из металлического выступающего стержня в цилиндрическом изоляторе. Радиус скругления рабочего конца электрода 3 и 6 мм для энергий в импульсе 312,5 и 1250 Дж соответственно. Роль противоэлектрода (плоскости) выполнял заземленный металлический корпус разрядной камеры.

Разряды с энергией в импульсе 1250 Дж (1 мкФ) осуществлялись в цилиндрической стальной камере (рис. 1а) с соосно установленным высоковольтным электродом. Межэлектродное расстояние составляло 45 мм. Сырье обрабатывалось последовательностью из 190 импульсов с промежуточным отбором проб при частоте следования разрядов от 1,2 до 1,4 Гц.

Разряды с энергией в импульсе 312,5 Дж (0,25 мкФ) осуществлялись в параболической камере из нержавеющей стали (рис. 1б) с вертикально установленным высоковольтным электродом. Межэлектродное расстояние составляло 30 мм. Сырье обрабатывалось последовательностью из 400 импульсов с промежуточным отбором проб при частоте следования разрядом 6 Гц.

Электроискровое экстрагирование проводили в спиртовой среде при массовом соотношении жидкой и твердой фаз 15:1 соответственно.

Навеска янтаря 51 г загружалась в корпус камеры 1, заливалась 760 г жидкости и закрывалась крышкой 2. Энергия, которая накопилась в конденсаторной батарее, превращается во внутреннюю энергию плазмы и работу расширяющегося канала, который формируется между двумя электродами 3 и 4. Расширяющийся плазменный канал излучает волну давления, распространяющуюся в жидкой среде, а инерционное движение жидкости позже приводит к периодическому расширению – схлопыванию

парогазового пузыря, который излучает повторные импульсы давления, а в случае с малым объемом разрядной камеры создает в ней квазистатическое давление. Волна разрежения приводит к объемной нелинейной микрокавитации в жидкости. Таким образом, часть энергии, выделившейся в разрядном канале, расходуется на выполнение работы по деформации материала.

Для исследования влияния количества разрядов, то есть количества использованной энергии на процесс экстрагирования, отбирались пробы экстракта через каждые 50 импульсов для определения содержания сухих веществ, общей минерализации, содержания органических кислот, активной кислотности рН и оптической плотности. Такие показатели могут указывать на количественную и качественную характеристики полученного экстракта.

Содержание сухих веществ определялось рефрактометрическим методом. Общая минерализация экстракта определялась портативным TDS-метром. Активная кислотность измерялась рН-метром.

Оптическая плотность определялась в стеклянных кюветах толщиной 5 мм с помощью прибора КФК-3 на длинах волн 350, 400, 450 нм. Увеличение интенсивности цветности экстракта, что соответствует увеличению концентрации растворенных веществ, постепенно меняет пиковые значения оптической плотности на большую длину волны измерения. Поэтому, чтобы выразить изменение интенсивности окраски, следует показатель оптической плотности представить как сумму полученных значений при указанных трех длинах волны.

Определение содержания органических кислот проводили путем нейтрализации щелочью экспериментального раствора в пересчете на общее содержание органических кислот по формуле:

$$X = 0,0107N - 0,000155A,$$

где X – содержание органических кислот в растворе, %; N – объем щелочи, см³; A – объемная доля спирта в растворе, %об.

Для этого отбиралась проба экстракта 50 см³ и переносилась в колбу. К образцу добавлялись 2–3 капли 1% спиртового раствора фенолфталеина с последующим титрованием раствором NaOH 0,1 н до появления фиолетового цвета.

С целью изучения влияния электроискровых разрядов на создание дополнительной пористости материала были определены плотность обработанных и необработанных образцов янтаря пикнометрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экстрагирование компонентов из сырья в объеме электроискровых разрядов осуществляется за счет создания ударной волны, которая разрушает структуру материала и способствует созданию высоких гидродинамических условий для перехода растворимых веществ сырья в объем жидкой фазы. Гидродинамические импульсы, возникающие в результате разряда в жидкости, состоят из двух важных факторов: основного – гидравлического удара и вспомогательного – кавитационного. Чем короче импульс, чем круче его фронт и выше амплитуда, тем короче и сильнее гидравлический удар [17, 18]. Динамика радиального расширения канала определяется, с одной стороны, током разряда, а с другой стороны, зависит от развития гидродинамического ударно-волнового процесса в жидкой среде, окружающей разряд [19].

Исследовалось влияние количества импульсов на кинетические показатели процесса экстрагирования. Устанавливалось изменение содержания растворимых сухих веществ в пробах экстракта после каждых 50 разрядов. Результаты исследований обобщены на [рис. 2](#).

Как видно из данных [рис. 2](#), электроискровым способом возможно достичь извлечения сухих веществ из янтаря в количестве 0,6% при соотношении 15:1 жидкой и твердой фаз. Также видно, что для достижения равновесной концентрации системы необходимо произвести 300 импульсов с энергией импульса 312,5 Дж или 190 импульсов с энергией 1250 Дж одного импульса. Однако в перерасчете на суммарную использованную энергию для достижения максимального выхода веществ лучшим будет вариант с использованием конденсатора 0,25 мкФ, так как энергозатраты будут меньше, нежели при применении конденсатора 1,0 мкФ.

Извлечение сухих веществ из янтаря при электроискровом экстрагировании может быть описано зависимостью, которая имеет кубический полиномиальный вид:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3,$$

где y – содержание сухих веществ в экстракте, %; x – количество израсходованной энергии; a, b, c, d – коэффициенты уравнения. С условием использования разрядов с энергией 312,5 Дж в процессе экстрагирования необходимо применить такие коэффициенты уравнения: $a = 0,00606$; $b = 0,00462$; $c = 5,9 \times 10^{-5}$; $d = -4,63 \times 10^{-7}$. При экстрагировании компонентов из янтаря разрядами 1250 Дж следует брать коэффициенты: $a = 0,0142$;

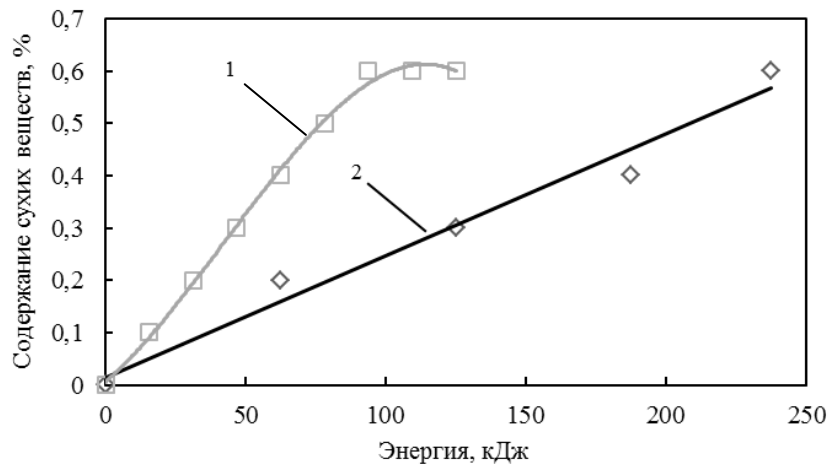


Рис. 2. Изменение содержания сухих веществ в экстракте при увеличении общего количества подведенной энергии: 1 – конденсатор 0,25 мкФ; 2 – конденсатор 1,0 мкФ.

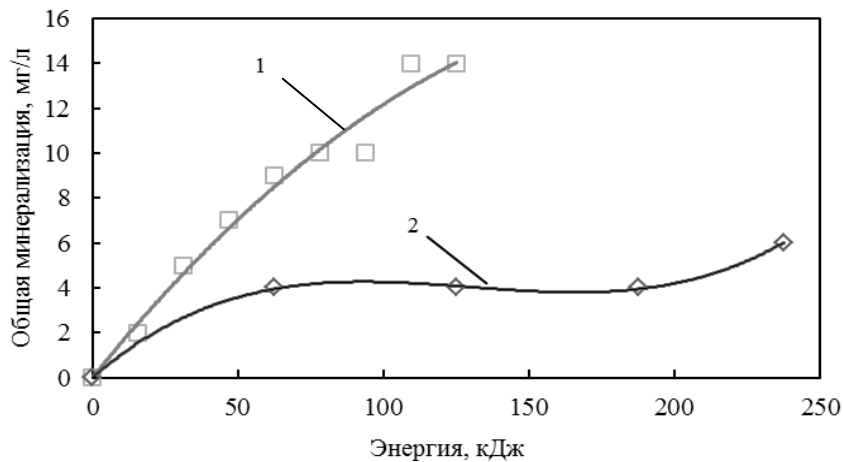


Рис. 3. Изменение общей минерализации экстракта при увеличении общего количества подведенной энергии: 1 – конденсатор 0,25 мкФ; 2 – конденсатор 1,0 мкФ.

$b = 0,00218$; $c = 3,53 \times 10^{-6}$; $d = -1,4 \times 10^{-8}$. Расчет по представленному уравнению будет иметь среднеквадратические отклонения 0,996 и 0,95 соответственно.

Показатель общей минерализации экстракта указывает на количественное содержание в нем растворенных микро- и макроэлементов и их солей. Зависимость изменения этого показателя от количества подведенной энергии представлена на рис. 3.

В этом случае рост минерализации экстракта соответствует количеству использованной энергии в процессе электроискровой обработки. К тому же применение разрядов с меньшей энергией позволяет достичь значительно больших значений минерализации при меньшей затрате энергии, но с относительно большим количеством импульсов.

На основании полученных результатов процесс минерализации экстракта под влиянием электроискровых разрядов можно описать уравнением:

$$y = a(1 - b^x),$$

где y – общая минерализация экстракта, мг/л;
 x – количество подведенной энергии;

a , b – коэффициенты уравнения. Коэффициенты будут отличаться в обоих случаях. Для расчета общей минерализации в процессе экстрагирования разрядами энергией 312,5 Дж каждый нужно использовать коэффициенты $a = 24,4$; $b = 0,993$. При экстрагировании разрядами 1250 Дж эти коэффициенты будут $a = 4,95$; $b = 0,979$. При этом значение среднеквадратических отклонений уравнений составит 0,974 и 0,833.

Поскольку наиболее ценным компонентом янтаря является янтарная кислота, исследовалось изменение содержания органических кислот экстракта от растущего числа импульсов электроискровой установки с разной емкостью присоединенного конденсатора. Результаты обобщены на рис. 4.

Из данных рис. 4 виден стремительный линейный рост органических кислот в экстракте во время применения до 300 импульсов в случае использования разряда энергией 312,5 Дж. После чего последующее количество разрядов уменьшает содержание кислот. Это может быть вызвано химическими реакциями распада соединений, которым способствуют последующие электрические разряды.

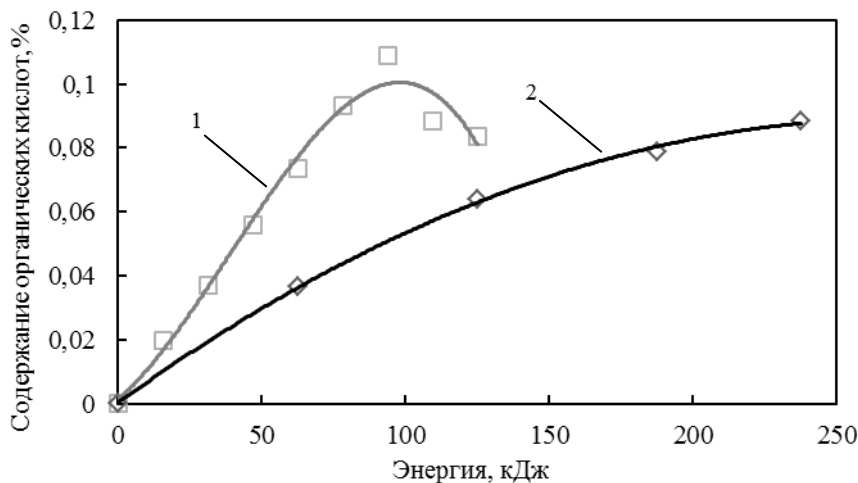


Рис. 4. Изменение содержания органических кислот в экстракте при увеличении общего количества подведенной энергии: 1 – конденсатор 0,25 мкФ; 2 – конденсатор 1,0 мкФ.

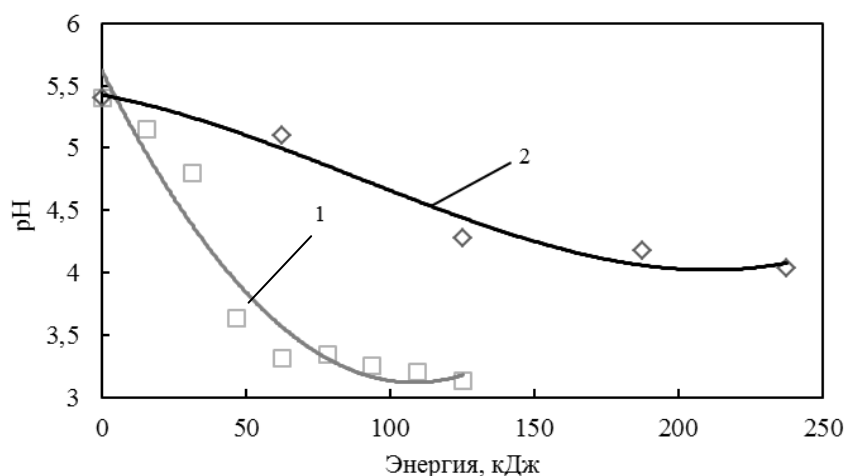


Рис. 5. Изменение pH экстракта при увеличении общего количества подведенной энергии: 1 – конденсатор 0,25 мкФ; 2 – конденсатор 1,0 мкФ.

Характеристика изменения содержания органических кислот в экстракте в случае использования разрядов с энергией 312,5 Дж (кривая 1) отличается от применения разрядов энергией 1250 Дж (кривая 2) тем, что имеет пиковое значение. Такое изменение возможно описать уравнением со среднеквадратическим отклонением $\sigma = 0,972$:

$$y = e^{a+bx+cx^2},$$

где y – содержание органических кислот в экстракте, %; x – количество использованной энергии; a, b, c – коэффициенты уравнения $-4,76, 0,052, -2,75 \times 10^{-4}$ соответственно.

Насыщение органическими кислотами экстракта, происходящее при разрядах 1250 Дж, также описывается показательным уравнением следующего вида:

$$y = a - b \times c^x,$$

где применимые коэффициенты имеют следующие значения: $a = 0,112$; $b = 0,112$; $c = 0,993$. Среднеквадратическое отклонение

такого уравнения для этого случая составляет $\sigma = 0,999$.

Активная кислотность, измеряемая в единицах pH, также может быть показателем, который характеризует изменение кислотного состояния экстрактов по выходу кислот, извлекаемых из янтаря. Зависимость изменения pH экстракта от режимов электроискровой экстракции изображена на рис. 5.

В случае насыщения экстракта кислотными соединениями его показатель pH будет уменьшаться, что указывает на усиление кислотности раствора. В соответствии с рис. 5 лучшие показатели кислотности достигаются с использованием импульсов энергией 312,5 Дж. При этом количество импульсов, при которых дальнейшая обработка не принесет существенного улучшения, составит 200 раз в обоих случаях с разными емкостями присоединенных конденсаторов.

Определить значение pH экстракта возможно по уравнению:

$$y = e^{a+bx+cx^2},$$

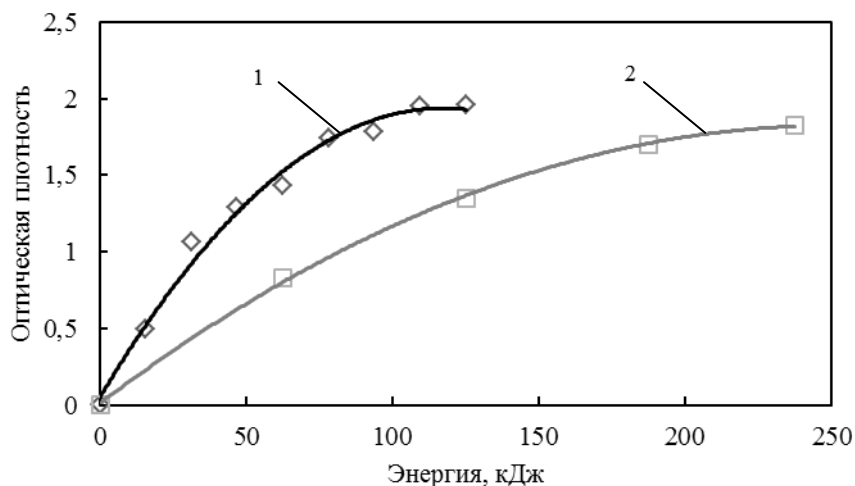


Рис. 6. Изменение оптической плотности экстракта при увеличении общего количества подведенной энергии: 1 – конденсатор 0,25 мкФ; 2 – конденсатор 1,0 мкФ.

где y – значение рН, у.е.; x – количество использованной энергии; a , b , c – коэффициенты уравнения. Для кривой 1 применимы коэффициенты: $a = 1,73$; $b = -0,001$; $c = 3,8 \times 10^{-5}$. Для кривой 2 коэффициенты 1,7; $-0,002$; $2,8 \times 10^{-6}$ соответственно. Среднеквадратические отклонения для этих кривых будут следующими: 1 – 0,902; 2 – 0,885.

Экспоненциальную зависимость имеет оптическая плотность экстракта от количества затраченной энергии в процессе электроискрового экстрагирования, что представлено на рис. 6.

Оптическая плотность экстракта определяется интенсивностью его окраски, которую придает растворимая в этиловом спирте фракция смолы. Анализ приведенных данных с рис. 6 указывает, что достижения максимальной интенсивности окраски экстракта при заданном соотношении фаз возможны до значения 1,8–1,9 оптической плотности. Однако использование конденсатора емкостью 0,25 мкФ в процессе электроискрового экстрагирования позволит достичь высоких результатов с меньшими затратами энергии.

Полученные зависимости имеют экспоненциальный характер и достаточно точно описываются уравнением, что имеет среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,99$:

$$y = a - b \times c^x,$$

где y – оптическая плотность экстракта, у.е.; x – количество использованной энергии; a , b , c – коэффициенты уравнения. Для кривой 1 применимы коэффициенты: $a = 2,17$; $b = 2,18$; $c = 0,981$. Для кривой 2 коэффициенты равны 2,2; 2,2; 0,992 соответственно.

Исходя из результатов исследования можно сделать вывод, что экстрагирование целевых компонентов из янтаря целесообразно проводить с использованием разрядов, которые несут 312,5 Дж энергии. При этом импульсы в количестве 300–350 ударов обеспечат получение

спиртового экстракта янтаря с высокими качественными показателями.

Приведенные графики представлены как зависимости функций отклика от суммарного расхода энергии на процесс экстрагирования. При этом значимое преимущество использования разрядов с энергией 312,5 Дж в отличие от разрядов 1250 Дж. Однако если посмотреть на эти результаты со стороны количества производимых импульсов, видно, что в случаях изменения содержания сухих веществ, органических кислот и оптической плотности экстрактов применение одинакового количества импульсов разной энергии позволяет указывать на эффективность разрядов с большей энергией (1250 Дж). Это дает представление о влиянии энергии разряда на процесс экстрагирования вне зависимости от их количества. Но с точки зрения энергопотребления процесса рациональным будет использование разрядов с меньшим значением единичного расхода энергии, но большим количеством импульсов.

Результатом электроискровой обработки янтаря является также создание новых микро- и макропор материала. Соответственно проведено определение плотности янтаря до и после обработки, что указывает на образование дополнительной пористости сырья. Изначальная плотность янтаря-сырца, взятого для исследования, составляет 1,127 г/см³. Плотность янтаря после обработки 190 импульсами и суммарной использованной энергией 237,5 кДж составила 1,084 г/см³, а после обработки 400 импульсами с общей энергией 125 кДж плотность изменилась до 1,015 г/см³. Такие результаты подтверждают влияние электроискровых разрядов на создание пористости твердого тела, в частности полимерной структуры.

На рис. 7 показано сравнение внешнего вида янтаря-сырца и янтаря, который подвергали обработке, фракции янтаря-сырца, полученного



Рис. 7. Внешний вид янтаря-сырца и обработанного: 1 – исходный янтарь-сырец; 2 – янтарь-сырец фракции 1500 мкм; 3 – фракция 900 мкм обработанного янтаря общей энергией 125 кДж; 4 – фракция 900 мкм обработанного янтаря общей энергией 250 кДж.

механическим измельчением, и фракции обработанного янтаря, полученного при разных условиях.

Янтарь при электроимпульсной обработке лишается окислительной корки и меняет свой цвет, становится заметно светлее. В отличие от механически измельченной фракции частицы янтаря после обработки приобретают шаровидную форму, благодаря чему поверхность имеет большую площадь контакта фаз. Такой результат позволяет сделать вывод, что благодаря электроискровым разрядам янтарь приобретает более качественный внешний вид, что является важным показателем в ювелирном производстве.

В результате электроискрового экстрагирования лучшие конечные показатели удалось получить при использовании разрядов с энергией 312,5 Дж в отличие от разрядов 1250 Дж. Показатели общей минерализации, активной кислотности рН и оптической плотности экстрактов в момент наступления равновесного состояния получили значения выше при экстрагировании с применением разрядов 312,5 Дж, чем с разрядами 1250 Дж. В этом случае стоит обратить внимание на факторы, которые могли повлиять на такой результат. Возможно, частота подведенных импульсов обеспечила дополнительное усилие при формировании ударно-волнового фронта, что вызвало образование большей пористости материала, подтверждающееся изменением плотности янтаря.

ВЫВОДЫ

Применение электроискрового воздействия в процессе экстрагирования целевых компонентов из янтаря обосновывается созданием интенсивных гидроударных условий, при которых извлечение целевых компонентов улучшается за

счет создания новых поверхностей контакта фаз при измельчении материала и образовании микро- и макропористой структуры сырья. При этом процесс обогащения экстракта происходит за более короткое время относительно классических технологий экстрагирования.

Установлено, что электроискровое экстрагирование компонентов из янтаря следует проводить с использованием установок высокого напряжения, которые имеют конденсаторы емкостью 0,25 мкФ, при этом 300–350 импульсов достаточно для установления равновесной концентрации системы жидкость–твердое тело в процессе экстрагирования в рассмотренных экспериментом условиях аппаратуры и сырья. При таком режиме затраты энергии для обработки объема суспензии составляют всего 0,026 кВт·час в отличие от применения разрядов большей емкости 1,0 мкФ.

Представляет интерес продолжение исследования процесса электроискрового экстрагирования целевых компонентов из янтаря при разных рабочем напряжении и соотношении жидкой и твердой фаз внутри рабочего объема.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Synoradzki, L., Arct, J., Safarzyński, S., Hajmowicz, H., et al., Characteristics and application of Baltic amber in pharmaceutical and cosmetic industries, *Przemysł Chemiczny*, 2012, vol. 91, no. 1, p. 89.
2. Gaidukovs, S., Lyashenko, I., Rombovska, J., Gaidukova, G., Application of amber filler for production of novel polyamide composite fiber, *Text. Res. J.*, 2016, vol. 86, no. 20, p. 2127. <https://doi.org/10.1177/0040517515621130>.

3. Wang, Y.M., Yang, M.X., You, T., Latest progress of pressed amber, *J. of Gems & Gemmology*, 2012, vol. 14, no. 1, p. 38.
4. Laurs, B.M., Amber processing in Lithuania, *J. of Gemmology*, 2015, vol. 34, no. 8, p. 673.
5. Malashenkov, B.M., Amber industry of the Russian Federation and the world amber market, *Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy vestnik*, 2018, vol. 69, p. 103.
6. Simkha, G.V., *Vodka «Burshtynivka»*, Ukraine Patent 108098, issued June 24, 2016.
7. Mironov, O.L., Kachalova, N.M., Dzyuba, O.I., Bogza, S.L., Complex of biologically active amber compounds: method of production, properties and application, *Proceedings of X International interdisciplinary sci.-pract. conference "Modern aspects of human health"*, April 21–22, 2017, Uzhhorod, Ukraine, pp. 247–251.
8. Zavialov, V., Zaporozhets, Yu., Mysiura, T., Popova N., Sukmanov V., Chornyi V., Research of electrical treatment of plant raw materials in vibroextraction, *Proceedings of the intern. conf. "Modern Technologies in the Food Industry"*, October, 18–20, 2018, Chişinău, Moldova, 2018, pp. 29–34.
9. Li, Z., Fan, Y., Xi, J., Recent advances in high voltage electric discharge extraction of bioactive ingredients from plant materials, *Food Chem.*, 2019, vol. 277, p. 246. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.119>
10. Brianceau, S., Turk, M., Vitrac, X., Vorobiev, E., High voltage electric discharges assisted extraction of phenolic compounds from grape stems: Effect of processing parameters on flavan-3-ols, flavonols and stilbenes recovery, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2016, vol. 35, p. 67. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.006>.
11. Chadni, M., Grimi, N., Ziegler-Devin, I., Brosse, N., et al., High voltage electric discharges treatment for high molecular weight hemicelluloses extraction from spruce, *Carbohydr. Polym.*, 2019, vol. 222, p. 115019. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115019>.
12. Ren F., Ge L., Stelmashuk V., Rufford T.E., Xing H., Rudolph V., Characterisation and evaluation of shockwave generation in water conditions for coal fracturing. *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, 2019, vol. 66, p. 255. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2019.04.005>.
13. Xiong, L., Liu, Y., Yuan, W., Huang, S., et al., Experimental and numerical study on the cracking characteristics of repetitive electrohydraulic discharge shock waves, *J. Phys. D Appl. Phys.*, 2020, vol. 53, no. 49, 495502. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abacee>.
14. Yan, F., Xu, J., Peng, S., Zou, Q., Zhou, B., Long, K., Zhao, Z., Breakdown process and fragmentation characteristics of anthracite subjected to high-voltage electrical pulses treatment, *Fuel*, 2020, vol. 275, 117926. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117926>.
15. Zhang, X., Lin, B., Zhu, C., Wang, Y., Guo, C., Kong, J., Improvement of the electrical disintegration of coal sample with different concentrations of NaCl solution, *Fuel*, 2018, vol. 222, p. 695. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.151>.
16. Yan, D., Bian, D., Zhao, J., Niu, S., Study of the Electrical Characteristics, Shock-Wave Pressure Characteristics, and Attenuation Law Based on Pulse Discharge in Water, *Shock and Vibration*, 2016, 6412309. <https://doi.org/10.1155/2016/6412309>.
17. Yan, D., Wu, Q., Chen, I., Zhao, N., Analysis of Shockwave Front-Time Characteristics based On Pulse Discharge in Water, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2020, vol. 13, no. 4, p. 30. <https://doi.org/10.25103/jestr.134.03>.
18. Zaporozhets, Yu.V., Investigation of the electrospark treatment of raw materials before vibroextraction: Intensification of hop extraction process with assistance of low-frequency mechanical fluctuations in brewing: thesis. Kyiv, Ukraine: NUFT, 2010, 115–125.

Summary

The paper presents the results of amber extraction, which was subjected to high-voltage electric pulse treatment in order to intensify the extraction of target components. This method of processing made possible to achieve a high degree of grinding of the material and the appearance of additional micro- and macropores, which increased a total contact area of the phases required for an effective process of extracting raw materials. The processing was carried out in chambers of a high-voltage pulse-periodic generator with the storage capacities of 0.25 and 1.0 μF , an output voltage of 50 kV, and different number of pulses for the corresponding capacitor capacitance. For research, amber stones with an average size of 8.2 mm were selected. The process was carried out in an alcoholic medium with different electrical characteristics. As a result, the dependences of changes in the dry matter content, total mineralization, content of organic acids, active acidity pH, and optical density in the extract on a number of discharges at different pulse energies were obtained. The density of amber before and after processing was determined, which shows the ability of electric spark discharges to create additional porosity of the material necessary to ensure effective internal mass transfer. The results of the work can be used for the industrial implementation of electrospark processing of amber in order to obtain extracts with a complex of useful substances applicable in food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

Keywords: amber, extraction, electric spark discharge, fossil resin, solid-liquid, porosity