

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИИ ВЕЩЕСТВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Е.В. Петренко, А.А. Иванов

Научный руководитель: к.т.н. А.С. Юдин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2а, 634050

E-mail: petrozhenya7@mail.ru

STUDY OF THE SUBSTANCE EXTRACTION UNDER THE PULSE ELECTRIC FIELD

E.V. Petrenko, A.A. Ivanov

Scientific Supervisor: PhD, A.S. Yudin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 2a, 634050

E-mail: petrozhenya7@mail.ru

***Abstract.** The article is devoted to the intensification of extraction using a pulsed electric field (PEF). This technology, based on the high intensity of the PEF object, minimizes the possibility of contamination of the extract by the products of electric erosion of electrodes as compared to the electric discharge technology, and also has a number of advantages over traditional methods and their modifications due to the quality and speed of extraction. The experiment presented in the article clearly demonstrates the difference in the results, depending on the choice of the pulse parameters.*

Введение. В настоящее время растительное сырье является одним из главных объектов переработки в пищевой, фармацевтической, химической и других отраслях промышленности. Одной из задач экстракционной переработки растительного сырья является сокращение затрат энергии и времени традиционных методов извлечения полезных компонентов (мацерация, перколяция) [1], которые в ряде случаев достигли своего естественного предела. Одним из путей решения такой задачи является применение технологии обработки сырья импульсным электрическим полем (ИЭП).

Потенциальные преимущества данной технологии были продемонстрированы на мобильной испытательной установке, названной *KEA (Karlsruher Elektroporations Anlage* — Карлсруйская электрополяризационная установка) для экстракции сока из сахарной свеклы [2] и электропорации вина [3], а также данная технология была использована для извлечения веществ из софоры японской [4]. Задача данного исследования состоит в определении возможности извлечения веществ из клеток растительного сырья, а также постановки проведения дальнейших исследований.

Материалы и методы исследования. С целью исследования воздействия ИЭП на различные вещества было поставлено 2 эксперимента. Воздействию подвергался черный чай, экстракт которого повседневно используется в качестве тонизирующего напитка, и водоросль хлорелла, как наиболее быстрорастущий одноклеточный организм, компоненты которого являются ценными для пищевой косметической и животноводческой отраслей промышленности. Для исследования влияния ИЭП на степень экстракции чая была собрана конструкция, представляющая собой систему двух электродов из нержавеющей стали находящихся в воде на расстоянии 1 см, площадью около 8 см², между которых

помещался пакетик чая. На электроды подавалось импульсное напряжение амплитудой 4,5 кВ, длительностью 1 мкс и частотой следования 1000 и 2000 имп./сек в течение 1 минуты. Общее время нахождения пакетиков чая в воде составляло 3 мин. Регистрировалась температура воды до и после воздействия ИЭП. Для уменьшения влияния системных погрешностей использовались емкости двух видов: одноразовые пластиковые стаканы и фарфоровые кружки, а также отбирались контрольные образцы. В качестве индикатора степени экстракции был выбран кофеин. Сравнение степени экстракции производилось с образцами необработанными ИЭП. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Для исследования воздействия ИЭП на хлореллу была изготовлена рабочая ячейка, представляющая собой электродную систему, состоящую из двух электродов закрепленных на предметное стекло с помощью этилцианакрила (супер клей) с межэлектродным промежутком 0,25 мм. Площадь электродов составила 11,25 мм², емкость ячейки и её сопротивление, при использовании водопроводной воды в качестве сольвента, составили 33 пФ и 200 Ом соответственно.

Для обеспечения напряженности ИЭП в межэлектродном промежутке порядка десятков кВ/см был рассчитан и собран источник импульсов, позволяющий регулировать параметры: $t_{\text{имп}} = 0,1 \dots 200$ мкс; $U = 40 \dots 400$ В. Жидкость с хлореллой вносилась в межэлектродный промежуток, который затем накрывался покрывным стеклом. После чего, рабочая ячейка устанавливалась под микроскоп для наблюдения за состоянием клеток хлореллы. Затем на электроды подавалась серия из 10 импульсов напряжения, заданной длительности и амплитуды с частотой 2 имп/сек. Данный цикл повторялся 5 раз.

Результаты. По результатам газовой хроматографии образцов чая было выявлено, что в образцах 5,6 и 7 кофеин обнаружен в следовых количествах, что было ожидаемо, т.к. данные образцы не подвергались воздействию ИЭП. В то же время в образцах 1,2,3,4 и 8 обработанных ИЭП, его содержание колеблется от 730 до 2750 отн. ед. Необходимо отметить, что в образце 9 кофеин был обнаружен в следовых количествах. Ошибка может быть вызвана случайными факторами и требует проверки. Также газовая хроматография подтвердила, что в образцах подвергавшихся одинаковым условиям обработки ИЭП обнаруживается примерно одинаковое содержание кофеина. При этом наибольшая концентрация наблюдается в образце 2, который подвергался воздействию ИЭП при $f = 2000$ имп/сек.

Таблица 1

Результаты воздействия ИЭП на черный чай

Образец	Тара	f , имп./сек	$t_{\text{до}}$, °С	$t_{\text{после}}$, °С	кофеин, отн. ед.
1	фарф. стакан	1000	20	24,5	750
2	пласт. стакан	2000	20	30	2750
3	фарф. стакан	2000	20	27,5	2000
4	пласт. стакан	1000	20	24,5	730
5 – исход. вода	фарф. стакан	2000	20	28,5	–
6 – без ИЭП	фарф. стакан	–	20	20	след.
7 – без ИЭП	пласт. стакан	–	20	20	след.
8 – контроль 3	фарф. стакан	2000	20	27,5	2000
9 – контроль 4	пласт. стакан	1000	20	24,5	след.

В ходе эксперимента с хлореллой было поставлено несколько опытов с различными параметрами импульса. В первом опыте длительность импульса составила 5 мкс, а амплитуда 400 В, напряженность поля в межэлектродном промежутке составила 16 кВ/см. При данных параметрах импульса разрушение клеток хлореллы идентифицировано не было.

В следующем опыте длительность импульса была увеличена до 10 мкс, вследствие чего уже на 3 цикле опыта было замечено образование органической взвеси, что, возможно, свидетельствует о нарушении целостности клеток.

В третьем опыте длительность была увеличена до 20 мкс при той же амплитуде. В результате чего на 3 цикле опыта было замечено образование органической взвеси как и в предыдущем опыте, однако на 5 цикле зафиксировано изменение структуры большинства клеток хлореллы и гораздо более интенсивное образование органической взвеси (Рис. 1), природа которой на данном этапе исследований не установлена. Для этого необходимо провести дополнительные исследования химического состава раствора до и после обработки.

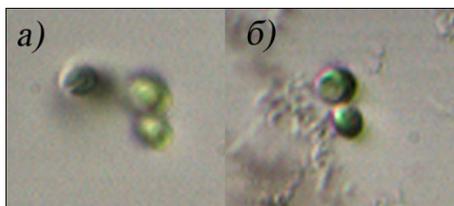


Рис. 1. Опыт 3. Клетки хлореллы а) – до обработки ИЭП; б) – после обработки ИЭП:
кратность увеличения 400х

Выводы. Проведя анализ результатов, можно заключить, что воздействие ИЭП на растительные объекты способствует экстракции содержащихся в них компонентов. При обработке чая в воде комнатной температуры происходит заметное увеличение кофеина в экстракте. Увеличение взвеси при обработке суспензии с водорослью хлорелла, косвенно подтверждает образование пор в оболочке клеток, а при увеличении длительности импульсов наблюдается рост образования указанной взвеси и интенсивности нарушения целостности клеток. Однако необходимо учесть, что данный эффект возможен и по причине нагрева жидкости в межэлектродном промежутке. Дальнейшие исследования будут направлены на получение ответа на этот вопрос, а также оптимизацию параметров импульса напряжения с целью поиска наиболее эффективных режимов экстракции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головкин В.А. «Методы экстракции растительного и животного сырья» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fromserge.narod.ru/lecture/L6.htm> – 14.12.16.
2. Stängle K., Wolf A., Müller G., "Operation of an electroporation device for mash" – 17th Int. Pulsed Power Conf., Washington, D.C., June 28 – July 2, 2009
3. Блум Х. «Схемотехника и применение мощных импульсных устройств» – Москва. 2008 – 346 с.
4. Казуб В.Т., Кошкарлова А.Г., Семенова Н.Н., Соловьева Е.В. «Интенсификации процессов водного экстрагирования» // Вестник ТГТУ. – 2014. – Т.20. № 3. – С. 496 – 501.