

УДК 66.061/ 086.2 + 633.88

**ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ЧАГИ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

**А.Б. Голованчиков<sup>1</sup>, Н.В. Грачева<sup>2</sup>**

*Кафедры: «Процессы и аппараты химических производств» (1);  
«Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» (2),  
ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»;  
gracheva.tasha@yandex.ru (1)*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** воздействие электрического поля; механизм интенсификации экстрагирования; определяющие факторы процесса.

**Аннотация:** Исследовано воздействие электрического поля постоянного тока на процесс экстрагирования чаги; выявлены механизм интенсификации и определяющие факторы процесса; предложена зависимость для расчета процесса экстрагирования.

---

В настоящее время наблюдается всплеск интереса к лекарственным и лечебно-профилактическим препаратам на основе березового гриба чаги. Это связано с особенностями химического состава и строения биологически активных веществ, определяющих проявление широкого спектра биологической активности [1–4].

В отечественной фармацевтической промышленности на основе водных извлечений чаги производят препарат «Бефунгин» (полугустой экстракт с добавлением солей кобальта) и спиртовую настойку чаги, а также «Чаговит» (в форме твердых желатиновых капсул и растворимого жидкого фитоэлексира в разовых пакетах или банках с дозатором) и его улучшенный вариант «Чагалюкс», фитокомпозиции на основе чаги № 4–5 в виде порошка, кремы и лосьоны «Чага» для наружного применения [5, 6].

Расширение спектра лечебных, лечебно-профилактических средств, а также биологически активных добавок на основе чаги предполагает необходимость расширения производственных мощностей. Существующие технологии не имеют возможности удовлетворять возросшие потребности. В связи с этим актуальным является поиск и разработка новых методов переработки, позволяющих интенсифицировать процесс.

Анализ современных методов экстрагирования – основной стадии переработки растительного сырья, направленных на интенсификацию процесса, показывает, что перспективными с этой точки зрения являются методы экстрагирования с наложением энергетических полей [7–14]. При этом наиболее простым в организации, а также характеризующийся низкими энергетическими затратами, является метод экстрагирования в условиях наложения электрического поля постоянного тока.

Особенностью экстрагирования сырья чаги является образование в процессе растворения внутриклеточного содержимого неистинного раствора, а коллоидной системы. Дисперсионная среда этой системы представляет собой сложный водный раствор минеральных и органических соединений, способных к диссоциации. Мицеллы этой системы представляют собой ассоциат из частиц полифенол-оксикарбонового комплекса (ПФК), удерживаемый за счет ионных, координационных, водородных связей, а также гидрофобных взаимодействий. При этом в состав мицелл входят другие полимерные соединения (полисахариды, белки, алломеланины), а также низкомолекулярные – флавоноиды, фенольные соединения и неорганическая компонента (ионы металлов) за счет комплексообразования.

Для разработки метода экстрагирования чаги в электрическом поле постоянного тока были проведены исследования по выявлению основных закономерностей протекания данного процесса.

### Экспериментальная часть

Для экспериментальных исследований было использовано сырье, приобретенное через аптечную сеть, стандартизированное и прошедшее радиационный контроль по СанПиН 2.3.2.560–96 и СанПиН 2.3.2.1078–01.

Характеристики партий использованного сырья приведены в табл. 1.

Предварительно сырье анализировали на влажность, содержание сухих веществ (СВ), ПФК согласно [15].

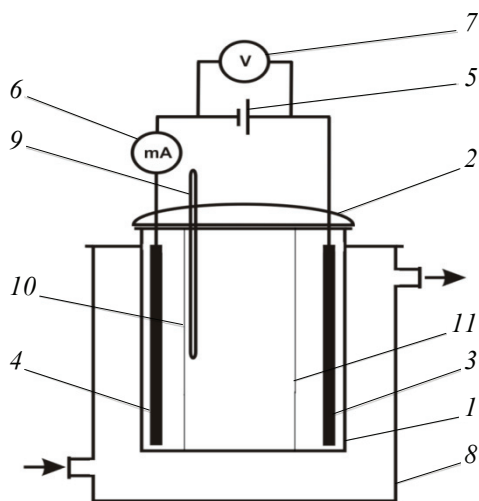
Для исследования процесса экстракции чаги в электрическом поле постоянного тока была разработана лабораторная экспериментальная установка (рис. 1), которая представляет собой емкость-электролизер 1, выполненный из электробезопасного материала. Сверху электролизер накрыт крышкой 2 для предотвращения испарения экстрагента. На противоположно расположенных стенках электролизера установлены нерастворимые электроды 3 и 4, которые подключены к источнику питания 5 – выпрямителю ВЛ-16. С целью предотвращения электрохимического окисления и восстановления экстрактивных веществ, а также предотвращения попадания продуктов электролиза в экстракт, экстракционная зона отделена от электродов полупроницаемыми мембранами 10, 11. Для контроля токовых параметров в цепь включены миллиамперметр 6 и вольтметр 7. Для поддержания температуры снаружи электролизера расположена тепловая рубашка 8, которая соединена с термостатом гибким шлангом. Температуру контролировали термометром 9.

Мацерация лежит в основе всех экстракционных процессов. Поэтому исследование влияния электрического поля на процесс экстрагирования чаги проводили методом мацерации. Навеску сырья массой 10 г заливали экстрагентом (дистиллированной водой) в электродные камеры, подавали напряжение и вели экстрагирование в течение определенного времени. На протяжении процесса контролировали изменение силы тока. По истечении времени экстракт сливали, измеряли объем и анализировали на содержание сухих веществ и ПФК, а также зольность. Параллельно проводили контрольные опыты в тех же условиях, только без наложения электрического поля. Каждый опыт повторяли три раза.

Таблица 1

#### Характеристики партий сырья чаги

№	Фирма-поставщик сырья	Город	Серия	Год
1	ООО «ЛекС+»	Химки	011108ББ	2008
2	ОАО «Красногорсклексредства»	Красногорск	203110	2010



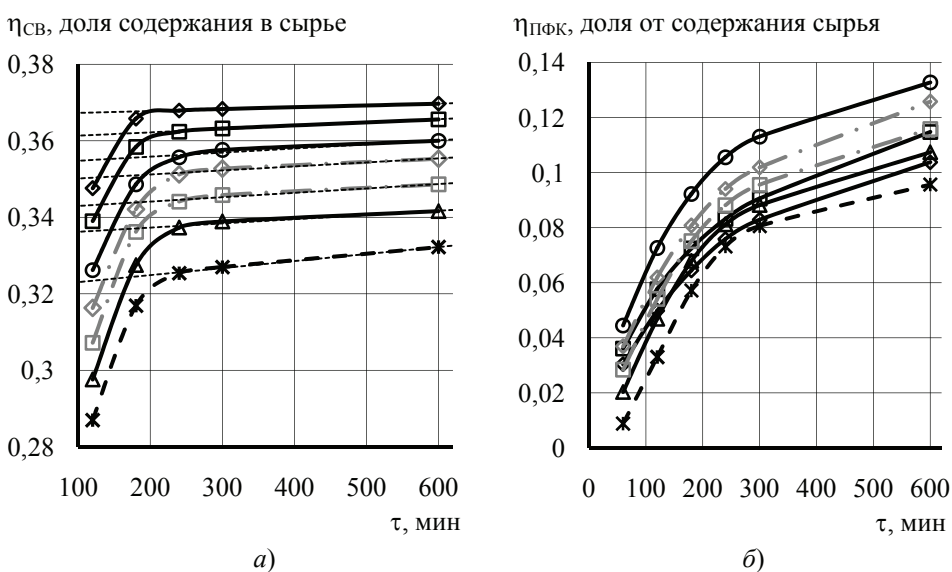
**Рис. 1. Схема экспериментальной установки:**  
 1 – емкость-электролизер; 2 – крышка электролизера; 3, 4 – электроды;  
 5 – источник питания; 6 – миллиамперметр;  
 7 – вольтметр; 8 – тепловая рубашка;  
 9 – термометр; 10, 11 – полупроницаемые мембраны

Ввиду того, что температурный режим значительно влияет на экстракцию биологически активных веществ чаги, с целью снижения влияния температурного фактора на первом этапе экстрагирования вели при температуре 25 °С. При этом соотношение сырье–экстрагент было равным 1:15, напряжение  $U$  – 8, 16, 24, 32 В, а расстояние  $R$  между электродами – 3 и 6,5 см.

По полученным результатам строили кинетические кривые выхода СВ и ПФК в долях от содержания в сырье (рис. 2). Графоаналитическим методом определяли коэффициент вымывания. С учетом объема слитого экстракта определяли число вымывания. Результаты представлены в табл. 2.

Для выявления влияния наложения электрического поля постоянного тока на выход СВ и ПФК строились графики зависимости выхода СВ и ПФК от токовых параметров:

силы тока  $I$ , напряжения  $U$ , плотности тока  $\rho$ , напряженности электрического поля  $E$  (рис. 3). Полученные данные обрабатывали математически.

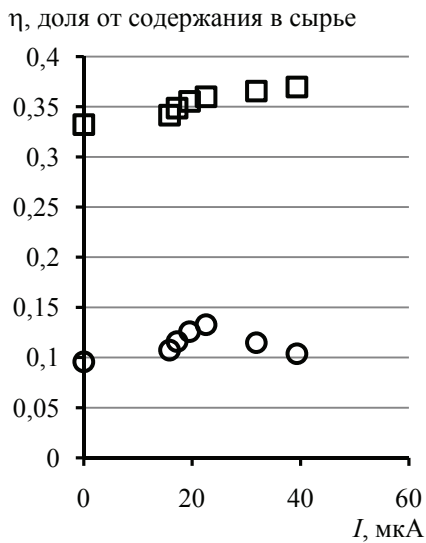


**Рис. 2. Кинетика экстракции СВ (а) и ПФК (б):**

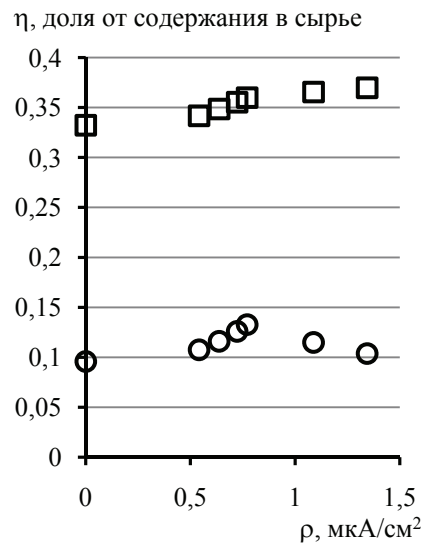
- \*— экстрагирование без наложения электрического поля;
- ▲— 8 ( $R = 3$  см); —○— 16 ( $R = 3$  см); —□— 24 ( $R = 3$  см);
- ◇— 32 ( $R = 3$  см); —□— 24 ( $R = 6,5$  см); —◇— 32 ( $R = 6,5$  см)

Коэффициент и число вымывания сырьё чаги

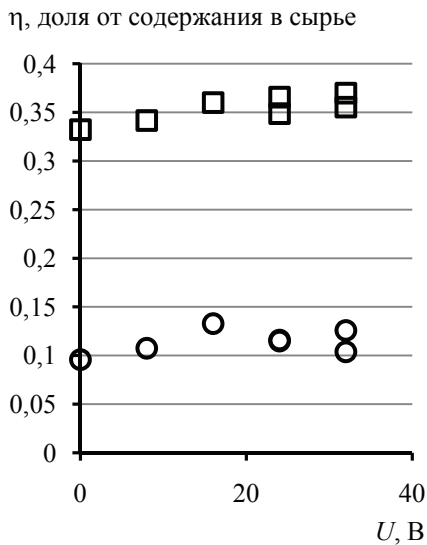
Характеристика	$U, B(R, \text{см})$						
	0 (0)	8 (3)	24 (6,5)	32 (6,5)	16 (3)	24 (3)	32 (3)
Коэффициент вымывания	0,32	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37
Число вымывания	0,41	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,46



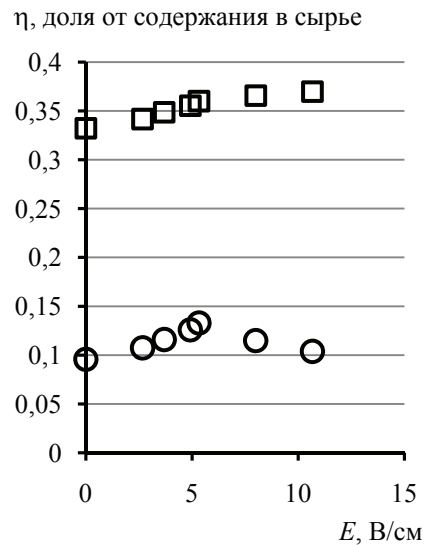
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Зависимость выхода СВ и ПФК от токовых параметров:

○ – выход ПФК; □ – выход СВ

С целью выявления возможности прохождения молекулами биологически активных веществ через мембраны в электродные камеры, в этой серии опытов анализировали предварительно объединенные после эксперимента анолит и католит (электролит электродных камер) на содержание СВ и зольность (З) (табл. 3).

На втором этапе, с целью определения влияния наложения электрического поля в процессе экстрагирования на целостность сырья, исследовали сорбционную способность жмыха чаги. В эксперименте использовали два вида жмыха, полученного при экстрагировании чаги без наложения электрического поля (жмых 1) и полученного при экстрагировании в условиях наложения электрического поля напряжением 16 В и расстоянием между электродами 3 см (жмых 2). В качестве маркера для тестирования использовали метиленовый синий [16]. Определяющими параметрами служили скорость сорбции и сорбционная емкость. Показано, что сорбционная емкость жмыха 2 составила 59,8 мг/г, а жмыха 1 – 38,4 мг/г. При этом время полного поглощения одним граммом жмыха соответствующего количества метиленового синего составило: для жмыха 1 – 1 ч 45 мин, для жмыха 2 – 1 ч 15 мин.

Таблица 3

Состав электролита электродных камер, г

U, В (R, см)	Показатель	Время, мин						
		30	60	120	180	240	300	600
8 (3)	СВ	0,0016± 0,0002	0,0029± 0,0002	0,0039± 0,0002	0,0040± 0,0002	0,0041± 0,0002	0,0041± 0,0001	0,0042± 0,0002
	З	0,0015± 0,0001	0,0029± 0,0002	0,0037± 0,0002	0,0038± 0,0002	0,0040± 0,0001	0,0041± 0,0001	0,0042± 0,0002
16 (3)	СВ	0,0018± 0,0002	0,0036± 0,0002	0,0059± 0,0003	0,0077± 0,0002	0,0098± 0,0001	0,0113± 0,0002	0,0156± 0,0003
	З	0,0018± 0,0002	0,0036± 0,0002	0,0059± 0,0003	0,0076± 0,0002	0,0098± 0,0001	0,0112± 0,0002	0,0158± 0,0002
24 (3)	СВ	0,0050± 0,0002	0,0069± 0,0001	0,0095± 0,0001	0,0112± 0,0002	0,0135± 0,0001	0,0153± 0,0002	0,0217± 0,0003
	З	0,0050± 0,0002	0,0065± 0,0004	0,0095± 0,0001	0,0112± 0,0002	0,0135± 0,0001	0,0151± 0,0004	0,0215± 0,0003
32 (3)	СВ	0,0057± 0,0003	0,0088± 0,0001	0,0122± 0,0002	0,0143± 0,0002	0,0169± 0,0002	0,0183± 0,0003	0,0259± 0,0002
	З	0,0057± 0,0002	0,0086± 0,0002	0,0119± 0,0002	0,0143± 0,0002	0,0165± 0,0003	0,0180± 0,0003	0,0259± 0,0002
24 (6,5)	СВ	0,0018± 0,0002	0,0032± 0,0002	0,0045± 0,0002	0,0055± 0,0001	0,0072± 0,0003	0,0081± 0,0002	0,0109± 0,0002
	З	0,0018± 0,0002	0,0032± 0,0003	0,0044± 0,0003	0,0056± 0,0001	0,0072± 0,0003	0,0082± 0,0002	0,0109± 0,0003
32 (6,5)	СВ	0,0018± 0,0002	0,0033± 0,0002	0,0054± 0,0002	0,0069± 0,0002	0,0085± 0,0002	0,0099± 0,0002	0,0132± 0,0002
	З	0,0018± 0,0002	0,0032± 0,0002	0,0051± 0,0002	0,0069± 0,0002	0,0087± 0,0002	0,0099± 0,0002	0,0133± 0,0002

## Обсуждение результатов

Анализ состава электролита электродных камер показал, что в процессе экстрагирования из экстракционной камеры удаляется только неорганическая компонента: катионы металлов и анионы неорганических кислот. С увеличением напряжения электрического поля увеличивается выход зольных элементов из экстракционной камеры.

Анализ кинетических кривых показал, что в процессе экстрагирования явно выделяется два периода: период быстрой экстракции, где временная зависимость носит нелинейный характер, и период медленной экстракции, где временная зависимость носит линейный характер. Показано, что наложение электрического поля оказывает интенсифицирующее влияние на период быстрой экстракции (увеличивается выход СВ). Интенсификация этой стадии происходит за счет увеличения числа разрушенных клеток, количественной характеристикой которого является коэффициент вымывания. Рассчитанные коэффициенты вымывания сырья чаги свидетельствуют о том, что при наложении электрического поля происходит разрушение клеток. Так как коэффициент вымывания находится в прямой связи с поверхностью массопередачи [17], то доказательством увеличения числа разрушенных клеток является скорость сорбции, а также величина сорбционной емкости. Анализ результатов по исследованию сорбционной способности показал, что жмых, полученный при экстрагировании сырья в электрическом поле, имеет сорбционную емкость в 1,56 раз большую, чем жмых, полученный экстрагированием чаги без наложения электрического поля, что свидетельствует в пользу увеличения количества открытых пор в структуре жмыха. При этом скорость поглощения возрастает в 1,98 раз, что свидетельствует об увеличении общей поверхности массопередачи. Рассчитанные числа вымывания, учитывающие количество веществ, вымытых из разрушенных клеток и удержанных между частицами сырья, свидетельствуют о незначительном влиянии электрического поля, которое проявляется в уменьшении удерживаемого объема экстракта при наложении электрического поля.

При выявлении определяющего фактора процесса экстрагирования чаги в электрическом поле постоянного тока установлено, что величина корреляционной связи выхода СВ с исследованными параметрами велика и примерно одинакова: для зависимости от силы и плотности тока она составила 0,96; напряжения – 0,81; напряженности – 0,97. Сила тока определяется поданным напряжением и составом сырья и характеризует интенсивность процесса при данных условиях. Плотность тока при прочих равных условиях определяется силой тока и является величиной непостоянной на протяжении всего процесса. Поэтому эти параметры нельзя использовать в качестве определяющих факторов. Напряжение также нельзя использовать в качестве определяющего фактора, так как изменение расстояния между электродами приводит к изменению сопротивления среды, и как следствие, к изменению силы тока и интенсивности процесса. В качестве определяющего фактора в процессе экстрагирования в электрическом поле можно использовать напряженность. Зависимость выхода СВ от напряженности носит линейный характер.

Анализ кинетических кривых экстракции ПФК показал, что наложение электрического поля приводит к увеличению выхода ПФК. Однако эта зависимость не носит линейный характер. На всех графиках зависимости выхода ПФК от токовых параметров имеется период возрастания и точка максимума, после которой выход ПФК уменьшается. Часть кривой зависимости выхода ПФК от токовых парамет-

ров, располагающаяся левее точки максимума, описывается экспоненциальным уравнением. При этом коэффициенты корреляции для силы и плотности тока составляют 0,93; напряжения – 0,98; напряженности – 0,99. Увеличение выхода ПФК при экстрагировании чаги в условиях наложения электрического поля может быть обусловлено несколькими причинами. Так как ПФК в растворе образует мицеллы, наложение электрического поля обуславливает их индуцированное движение под действием электрофоретических сил, что приводит к возрастанию внутренней массопроводности и скорости выхода ПФК из сырья. Кроме того, наложение электрического поля влияет на формирование самой мицеллы, что может приводить к дополнительному включению в комплекс биологически активных веществ. Снижение выхода ПФК при определенных токовых параметрах может быть обусловлено дезинтегрирующим воздействием электрического поля на мицеллы ПФК, в результате чего формируются новые мицеллы, устойчивые в данных условиях, но обедненные по составу. Для интенсификации выхода ПФК напряженность электрического поля не должна превышать значения 5,33 В/см.

Низкий выход ПФК, в целом, объясняется плохой растворимостью в холодной воде, а также малой скоростью диффузии высокомолекулярных соединений.

### Заключение

При экстрагировании чаги в электрическом поле постоянного тока происходит разрушение клеток, что приводит к увеличению коэффициента вымывания и, как следствие, ускорению процесса на стадии быстрой экстракции. Разрушение клеток обеспечивает лучшие условия для выхода ПФК, малоспособного к диффузии через микропоры. Определяющим фактором при экстрагировании в электрическом поле является напряженность электрического поля. При этом зависимость выхода СВ от данного параметра носит линейный характер. Зависимость выхода ПФК в при напряженности поля, не превышающей значения 5,33 В/см, и является экспоненциальной. В процессе экстрагирования происходит удаление зольных элементов из экстракционной камеры в электродные (катодную и анодную).

### Список литературы

1. Шашкина, М.Я. Чага, чаговит, чагалюкс как средства профилактики и лечения больных / М.Я. Шашкина, П.Н. Шашкин, А.В. Сергеев. – М : ГУ Рос. онколог. центр им. Н.Н. Блохина, 2008. – 82 с.
2. Immuno-Stimulating Effect of the Endo-Polysaccharide Produced by Submerged Culture of *Inonotus Obliquus* / Y.O. Kim [and others] // Life Sci. – 2005. – 77(19). – P. 2438–2456.
3. Anticancer Activity of Subfractions Containing Pure Compoudons of Chaga Mushroom (*Inonotus Obliquus*) Extract in Human Cancer Cells and in Balbc/c Mice Bearing Sarcoma-180 Cells / Mi Ja Chung [and others] // Nutrition Research and Practice (Nutr Res Pract). – 2010. – 4(3). – P. 177–182.
4. Адаптогенное действие препарата чаги / А.С. Гаврилов [и др.] // Хим.-фармацевт. журн. – 2003. – Т. 37, № 2. – С. 43–46.
5. Справочник Видаль «Лекарственные препараты в России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vidal.ru> (дата обращения 17.09.2010).
6. Информационно-аналитический портал о биодобавках [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://obad.ru> (дата обращения 17.09.2010).

7. Гончаренко, Г.К. Экстракция растительного сырья сжиженными газами / Г.К. Гончаренко, А.В. Пехов // Масложировая пром-ть. – 1968. – № 10. – С. 26–29.
8. Малышев, Р.М. Повышение эффективности экстракционных процессов за счет использования пульсационной технологии / Р.М. Малышев, А.Н. Злотников, А.А. Седов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2001. – Т. 44, № 1. – С. 141.
9. Паршина, М.А. Интенсификация процессов в жидкости при воздействии магнитных и ультразвуковых полей / М.А. Паршина, Г.А. Кардашев, А.В. Салосин // Электрон. обработка материалов. – 1983. – № 4. – С. 57–58.
10. Бутиков, В.В. Интенсификация процессов в массообменном оборудовании химических производств наложением электрических полей / В.В. Бутиков, В.В. Вишняков // Электрон. обработка материалов. – 1983. – № 4. – С. 30–32.
11. Голованчиков, А.Б. Экстрагирование активных компонентов из лекарственных растений в электрическом поле / А.Б. Голованчиков, М.В. Попов // Хим.-фармацевт. журн. – 1998. – Т. 32, № 8. – С. 31–35.
12. Экстрагирование антиоксидантов из листьев толокнянки (*Arctostaphylos Adans*) в электрическом поле / Н.И. Белая [и др.] // Хим.-фармацевт. журн. – 2006. – Т. 40, № 9. – С. 42–46.
13. Кудимов, В.Т. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов. Ч. I. Ударные волны и кавитация / Ю.Н. Кудимов, В.Т. Казуб, Е.В. Голов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 8, № 2. – С. 253–263.
14. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья / Г.В. Жматова [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2005. – Т. 11, № 3. – С. 701–707.
15. Государственная фармакопея СССР. В 2 вып. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / Министерство здравоохранения СССР. – 11-е изд. – М. : Медицина, 1990. – 400 с.
16. Решетников, В.И. Оценка адсорбционной способности энтеросорбентов и их лекарственных форм / В.И. Решетников // Хим.-фармацевт. журн. – 2003. – Т. 37, № 5. – С. 28–32.
17. Пономарев, В.Д. Экстрагирование лекарственного сырья / В.Д. Пономарев. – М. : Медицина. – 1976. – 202 с.

---

## The Main Regularities of the Process of Chaga Extraction in an Electric Field

A.B. Golovanchikov<sup>1</sup>, N.V. Gracheva<sup>2</sup>

*Departments: “Processes and Systems for Chemical Industry” (1);  
“Industrial Ecology and Life Safety”, Volgograd State Technical University (2);  
gracheva.tasha@yandex.ru*

**Key words and phrases:** determining factors of the process; the impact of the electric field; intensification of the extraction mechanism.

**Abstract:** The effect of the direct current electric field on the chaga extraction process is investigated; the mechanism of the intensification process and its determining factors are revealed.



## **Hauptgesetzmäßigkeiten des Prozesses des Chagaextrahierens im elektrischen Feld**

**Zusammenfassung:** Es ist die Einwirkung des elektrischen Feldes des Gleichstromes auf das Prozess des Chagaextrahierens untersucht. Es sind den Mechanismus der Intensifizierung und die feststellenden Faktoren des Prozesses gezeigt. Es ist die Anhängigkeit für die Berechnung des Prozesses des Extrahierens vorgeschlagen.

---

## **Essentielles régularités du processus de l'extraction de chaga dans un champ électrique**

**Résumé:** Est étudiée l'influence du champ électrique du courant continu sur le processus de l'extraction de chaga, sont révélés le mécanisme de l'intensification et les facteurs déterminants du processus, est proposée la dépendance pour le calcul du processus de l'extraction.

---

**Авторы:** *Голованчиков Александр Борисович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химических производств»; *Грачева Наталья Владимировна* – инженер кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ».

**Рецензент:** *Тишин Олег Александрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО «ВолгГТУ».

---