

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ

УДК 635.0.813

Е.В. Матвеенко, Н.А. Величко,  
С.В. Ушанов, Е.Н. Аёшина

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ И ВЫХОДА ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ЭКСТРАКЦИИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ JUNIPERUS SIBIRICA BURGSD ЭТИЛОВЫМ СПИРТОМ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

В статье изложены закономерности извлечения экстрактивных веществ из древесной зелени *Juniperus sibirica* B. Проведен анализ и обработка массива данных. Определена зависимость коэффициента диффузии и выхода экстрактивных веществ при экстракции древесной зелени *Juniperus sibirica* B. этиловым спиртом различной концентрации. Рассчитана математическая модель влияния концентрации растворителя на выход биологически активных веществ из древесной зелени *Juniperus sibirica* B. Подобраны условия наибольшего выхода биологически активных веществ из древесной зелени *Juniperus sibirica* B.

**Ключевые слова:** математическая модель, экстракция, коэффициент диффузии, биологически активные вещества, *Juniperus sibirica* B.

E.V. Matveenko, N.A. Velichko,  
S.V. Ushanov, E.N. Aeshina

### THE DETERMINATION OF THE DIFFUSION COEFFICIENT DEPENDENCE AND THE OUTCOME OF EXTRACTIVE SUBSTANCES IN THE WOOD GREEN ERY EXTRACTION OF JUNIPERUS SIBIRICA BURGSD BY THE ETHYL ALCOHOL IN DIFFERENT CONCENTRATIONS

*The extraction regularities of extractive substances from the *Juniperus sibirica* B. wood greenery are stated in the article. The data analysis and processing is conducted. The dependence of the diffusion coefficient and the outcome of the extractive substances in the extraction of *Juniperus sibirica* B. wood greenery by the ethyl alcohol in different concentrations is determined. The mathematical model of the solvent concentration influence on the outcome of the biologically active substances from the *Juniperus sibirica* B. wood greenery is calculated. The conditions for the the highest outcome of the biologically active substances from the *Juniperus sibirica* B. wood greenery are selected.*

**Key words:** mathematical model, extraction, diffusion coefficient, biologically active substances, *Juniperus sibirica* B.

**Введение.** В настоящее время большое внимание в медицине уделяется лекарственным растениям, которыми так богата флора Сибири. Препараты растительного происхождения, обладающие терапевтическим эффектом, как правило, малотоксичные и редко оказывают побочное действие. Одним из таких лекарственных растений является можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* B.), применяемый в народной медицине в виде отваров, настоев и вытяжек. Древесная зелень можжевельника является источником ценных биологически активных веществ. Можжевельник выделяет в 6 раз больше ароматических веществ, губительно действующих на бактерии, чем сосна [1]. Чаще всего извлечение биологически активных веществ из древесной зелени проводят экстракцией.

Для нахождения оптимальных условий выхода того или иного вещества все чаще используются методы математического планирования. Методы математического моделирования непрерывно развиваются и совершенствуются. Основные направления этого развития определяются рядом факторов, в числе которых можно указать на стремление расширить области применения, повысить степень использования математических методов и электронно-вычислительной техники, а также изыскать пути устранения выявляющихся недостатков.

**Цель исследований.** Анализ и обработка массива данных, полученных в результате исследования экстрактов *Juniperus sibirica B.*, а также поиск максимально приближенной математической модели для разработки оптимальных условий получения экстрактов и обеспечения наибольшего выхода экстрактивных веществ из древесной зелени можжевельника сибирского.

**Задачи исследований.** Математически описать процесс экстракции древесной зелени *Juniperus sibirica B.* для нахождения оптимального выхода экстрактивных веществ.

**Материалы и методы исследований.** Исходным сырьем была свежая древесная зелень *Juniperus sibirica B.*, произрастающего на территории Партизанского района Красноярского края. Образцы были собраны с 10–20 кустарников, усреднялись методом квартования. Содержание биологически активных веществ в экстрактах определялось по методикам, принятым в химии и биохимии растений [2–4].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Экстракцию древесной зелени *Juniperus sibirica B.* проводили водой и раствором этилового спирта. Концентрация этилового спирта выбрана 30–50 % с шагом в 5 % на основании предварительно проведенных экспериментов [5–7]; температура кипения экстрагента при атмосферном давлении – 736–738 мм рт. ст.

#### Математическая модель процесса экстракции

Выход экстрактивных веществ при экстракции древесной зелени можжевельника водными растворами этилового спирта определяется выражением [8–10]

$$Y(\tau) = Y_{\max} \cdot \left( 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \cdot \pi^2} \cdot \exp\left(\frac{-D \cdot (2n+1)^2 \cdot \pi^2}{4 \cdot h} \cdot \tau\right) \right), \quad (1)$$

где  $Y(\tau)$  – выход экстрактивных веществ, % к а.с.с.;

$Y_{\max}$  – содержание экстрактивных веществ в сырье, % к а.с.с.;

$\tau$  – продолжительность экстракции, с;

$D$  – коэффициент диффузии, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – характерный размер сырья, м.

Дисперсия воспроизводимости для выхода экстрактивных веществ равна 0,012. Стандартная ошибка воспроизводимости экспериментальных данных 0,107. Была проведена проверка гипотезы однородности дисперсий экспериментов по критерию Кохрена, в результате установлено, что гипотеза не отклоняется при уровне значимости  $\alpha=0,05$ .

На рисунке 1 показана интегральная функция распределения ошибок экспериментов для выхода экстрактивных веществ по критерию Фроцини.

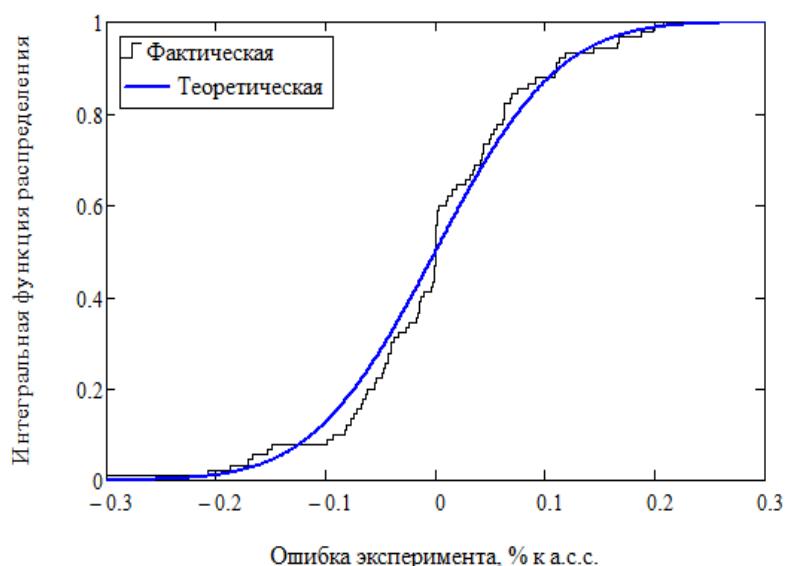


Рис. 1. Интегральная функция распределения ошибок экспериментов

для выхода экстрактивных веществ

Нормальность распределения ошибок модели (критерий Фроцини) и адекватность эксперимента не отклоняются. Графики экспериментальных исследований и математических моделей представлены на рисунке 2.

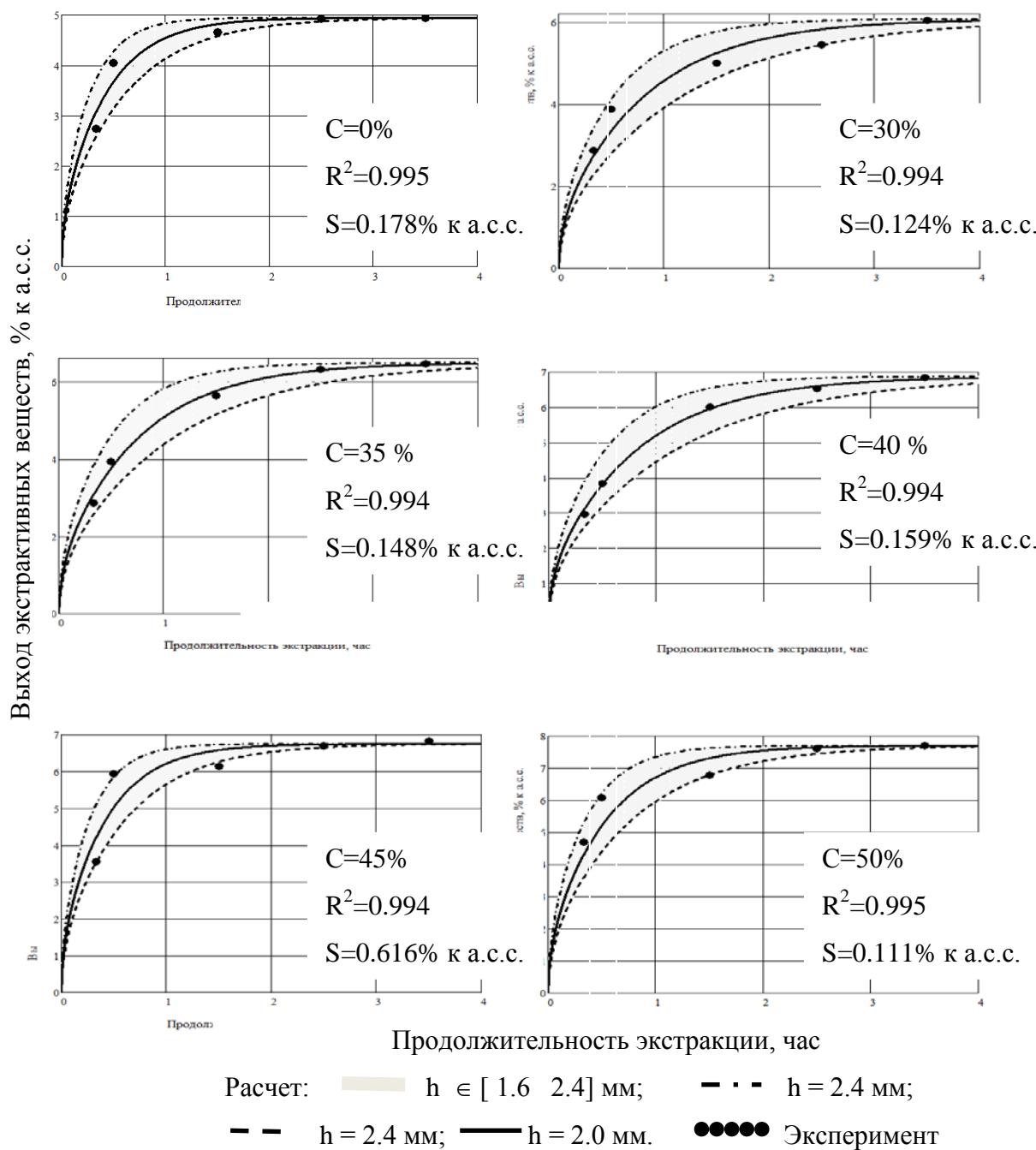


Рис. 2. Графики зависимости выхода экстрактивных веществ от продолжительности экстракции

Параметрическая идентификация модели (1) проведена методом наименьших квадратов [11]. Результаты расчета представлены в таблице. Показана адекватность модели при 5 %-м уровне значимости ( $F_{\text{рас}}=1,41 < F_{\text{кр}}=1,57$ ).

При увеличении продолжительности экстракции, концентрации экстрагента повышается и выход экстрактивных веществ, но при этом существенно меняется их качественный состав [5].

Это обусловлено тем, что с увеличением концентрации экстрагента выделяются как водорастворимые, так и жирорастворимые вещества. Неравномерность изменения коэффициента диффузии свидетельствует о качественном изменении состава получаемого экстракта.

**Оптимальные значения и границы интервалов измерений коэффициентов диффузии D (м<sup>2</sup>/с) и выхода экстрактивных веществ Y<sub>max</sub> (%) от а.с.с.) в зависимости от концентрации экстрагента (С) в экстрактах древесной зелени *Juniperus sibirica* B.**

C, %	D·10 <sup>-8</sup> м/с <sup>2</sup>			Выход(Y <sub>max</sub> ),% от а.с.с		
	Оптимальное	Максимальное	Минимальное	Оптимальное	Максимальное	Минимальное
0	1,718	1,269	2,387	4,947	4,631	5,284
30	0,885	0,672	1,17	6,075	5,622	6,596
35	0,981	0,76	1,255	6,49	6,114	6,916
40	0,896	0,689	1,148	6,888	6,482	7,366
45	1,727	1,365	2,24	6,76	6,435	7,099
50	1,377	1,135	1,685	7,711	7,355	8,088

**Выходы.** Установлены основные закономерности выхода экстрактивных веществ в зависимости от концентрации экстрагента и продолжительности процесса. Рассчитаны коэффициенты диффузии и максимальный выход экстрактивных веществ при исследуемых концентрациях экстрагента.

### Литература

- Гринкевич Н.И., Баландина И.А. Лекарственные растения. – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с.
- ГОСТ 24027.2-80. Сыре лекарственное растительное. – М., 1980. – 294 с.
- Ушанова В.М., Лебедева О.И., Деевятловская А.М. Основы научных исследований. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2004. – 335 с.
- Понаморев В.Г. Экстрагирование лекарственного сырья. – М., 1976. – 204 с.
- Матвеенко Е.В., Аёшина Е.Н. Исследования экстрактивных веществ *Juniperus sibirica* B. // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2012. – Т. 1. – С. 276–277.
- Аёшина Е.Н., Величко Н.А. Экстрактивные вещества *Juniperus sibirica* B. // Химико-лесной комплекс – проблемы решения: мат-лы Всерос. конф. – Красноярск, 2004. – Т. 3. – С. 37–39.
- Матвеенко Е.В., Аёшина Е.Н., Величко Н.А. Состав настоев древесной зелени *Juniperus sibirica* B. // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 257–259.
- Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система твердое тело–жидкость. – Л.: Химия, 1974. – 356 с.
- Ушанова В.М., Ушанов С.В. Исследование процесса экстрагирования коры пихты сибирской сжиженным диоксидом углерода // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 12. – С. 39–44.
- Ушанова В.М., Ушанов С.В. Экстрагирование древесной зелени и коры пихты сибирской сжиженным диоксидом углерода и водно-спиртовыми растворами. – Красноярск, 2009. – 191 с.
- Ушанов С.В. Параметрическая идентификация моделей. – Красноярск: Литера-Принт, 2012. – 199 с.

