

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ *JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ЭТИЛОВОГО СПИРТА

*Матвеевко Е. В. \*, Величко Н. А. \*\*, Ушанов С. В. \*, Аёшина Е. Н. \**

*Сибирский государственный технологический университет,  
Красноярск, Россия*

*\*\* Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия*

*The article describes the patterns of the extractive substances receiving from wood green of *Juniperus sibirica* B. The analysis and processing of the data is conducted. The dependence of the diffusion coefficient and the maximum amount of extractives in the extraction of wood green of *Juniperus sibirica* by the aqueous alcohol extractant in various concentrations is determined. The study mathematical model of the solvent nature influence on the yield of the biologically active substances from wood green of *Juniperus sibirica* B. is calculated. The highest yield of biologically active substances from wood green of *Juniperus sibirica* B. in the extraction by water-alcohol solution of different concentrations is established. The hypothesis testing of experiment dispersion homogeneity by Cochran and Frosini criteria was conducted.*

В медицине и фармакологии на сегодня все больше стараются использовать препараты растительного происхождения, обладающие терапевтическим эффектом, как правило, малотоксичные и редко оказывающие побочное действие. Можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* B.) - ценное лекарственное растение используется в народной медицине для лечения различных заболеваний. Благодаря разнообразию биологически активных соединений, входящих в состав древесной зелени, можжевельник является источником ценных компонентов для производства лекарственных препаратов широкого спектра. В настоящее время экстракты, настои из древесной зелени можжевельника обыкновенного широко применяются в фармакологии, парфюмерной и пищевой промышленности [1].

Чаще всего извлечение биологически активные вещества из древесной зелени проводят экстракцией.

Целью работы являлся анализ и обработка массива данных, полученных в результате исследования экстрактов *Juniperus sibirica* B., а так же поиск максимально приближенной математической модели, для разработки оптимальных условий получения экстрактов и обеспечения наибольшего выхода экстрактивных веществ из древесной зелени можжевельника сибирского. 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.

Экспериментальная часть:

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]. Экстракцию, древесной зелени *Juniperus sibirica* B. проводили водой и раствором этилового спирта. Концентрация этилового спирта выбрана 15 - 95%, на основании предварительно проведенных экспериментов [5,6]. Экстракцию проводили при температуре кипения экстрагента и атмосферном давлении 736–738 мм. рт.ст..

Ранее в исследованиях древесной зелени *Juniperus sibirica* B. [5,6,7] был рассмотрен выход и состав экстрактивных веществ, при использовании водно-спиртового экстрагента различных концентраций.

Математическая модель процесса экстракции:

Из массива экспериментальных данных 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  $Y(t)$  – количество извлеченных экстрактивных веществ, % к а.с.с.;

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

$\tau$  – продолжительность экстракции, час;

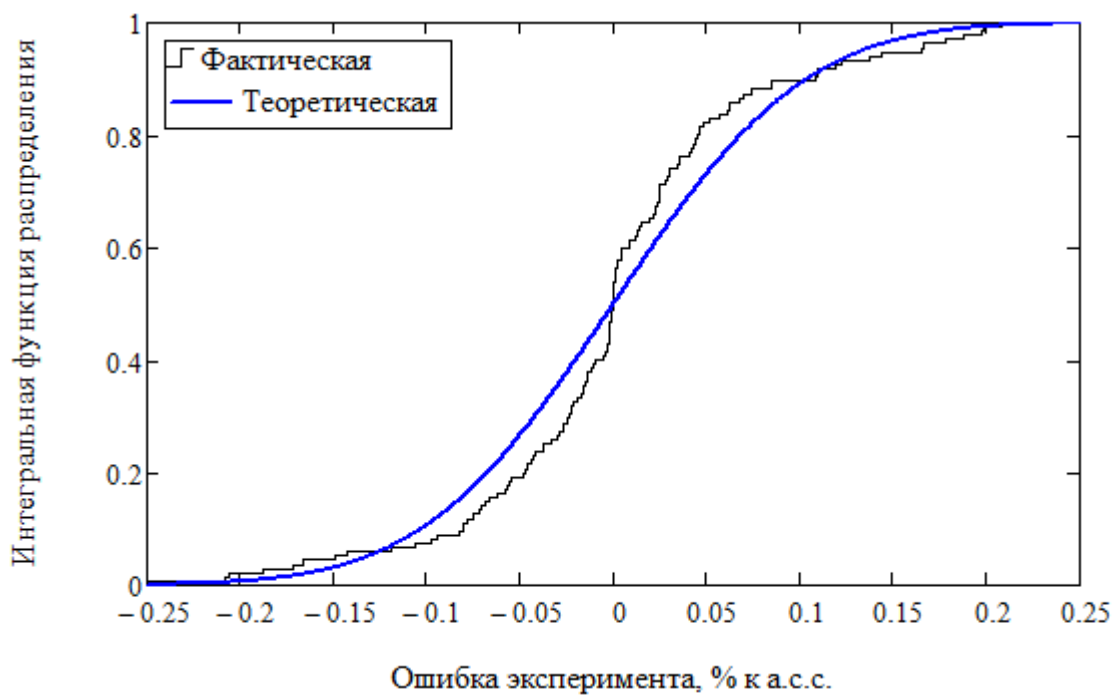
$D$  – коэффициент диффузии, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – характерный размер сырья, м;

$n$  – число размерных групп экстрагируемого сырья.

Дисперсия воспроизводимости для выхода экстрактивных веществ равна 0,010. Стандартная ошибка воспроизводимости экспериментальных данных 0,099 % к а.с.с. Была проведена проверка гипотезы однородности дисперсий экспериментов по критерию Кохрена, в результате гипотеза не отклоняется при уровне значимости 0,95.

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

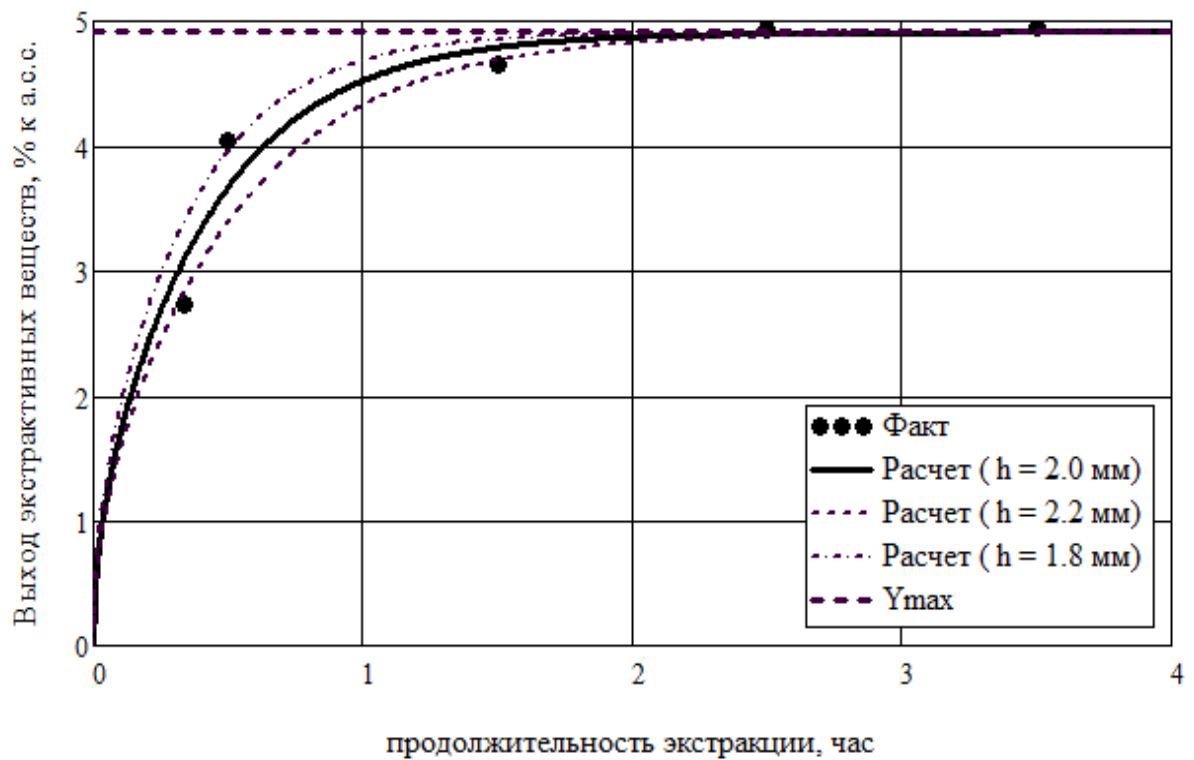


*Рисунок 1 - Интегральная функция распределения ошибок экспериментов для выхода экстрактивных веществ*

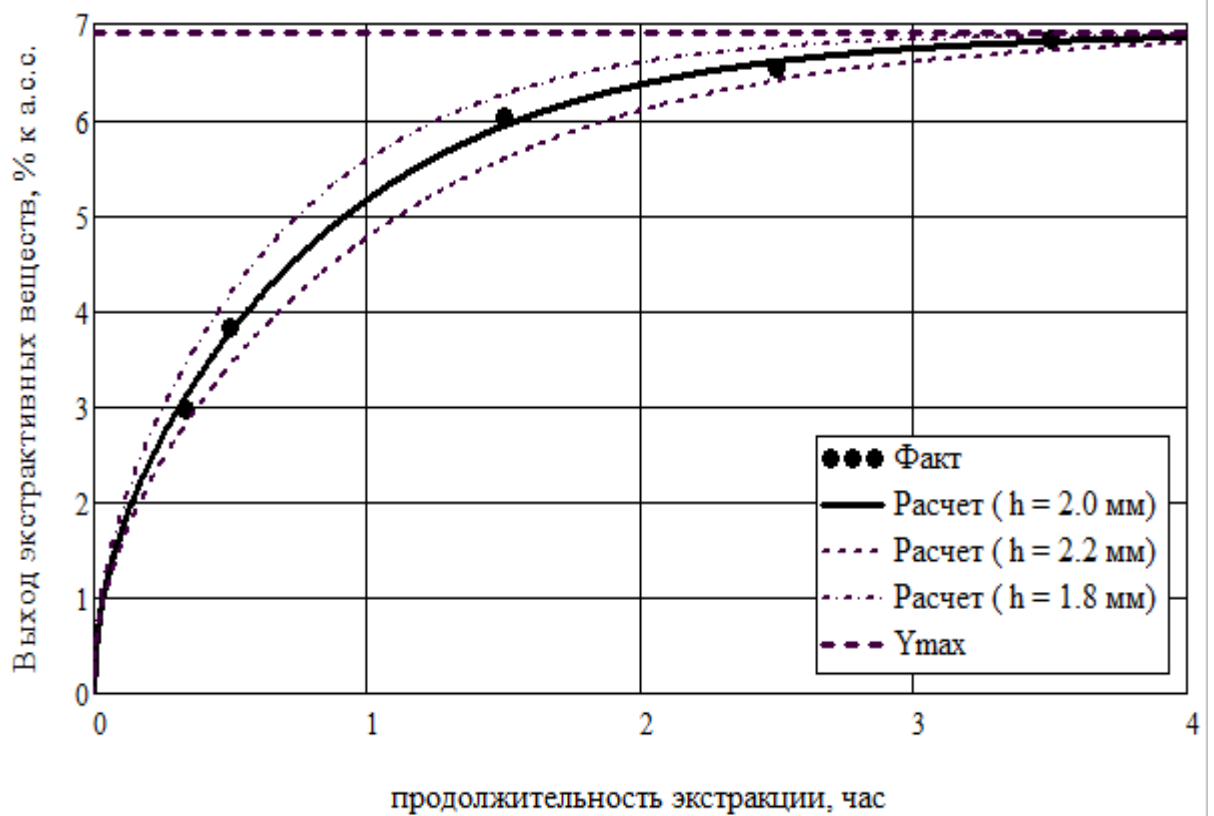
Нормальность распределения ошибок модели (критерий Форцини) и адекватность эксперимента не отклоняется. Стандартная ошибка модели 0,289 % к а.с.с. Расчитан коэффициент детерминации  $R^2 = 0,981$ .

Графики проведенных экспериментальных исследований и математических моделей представлены на рисунках 2 - 3.

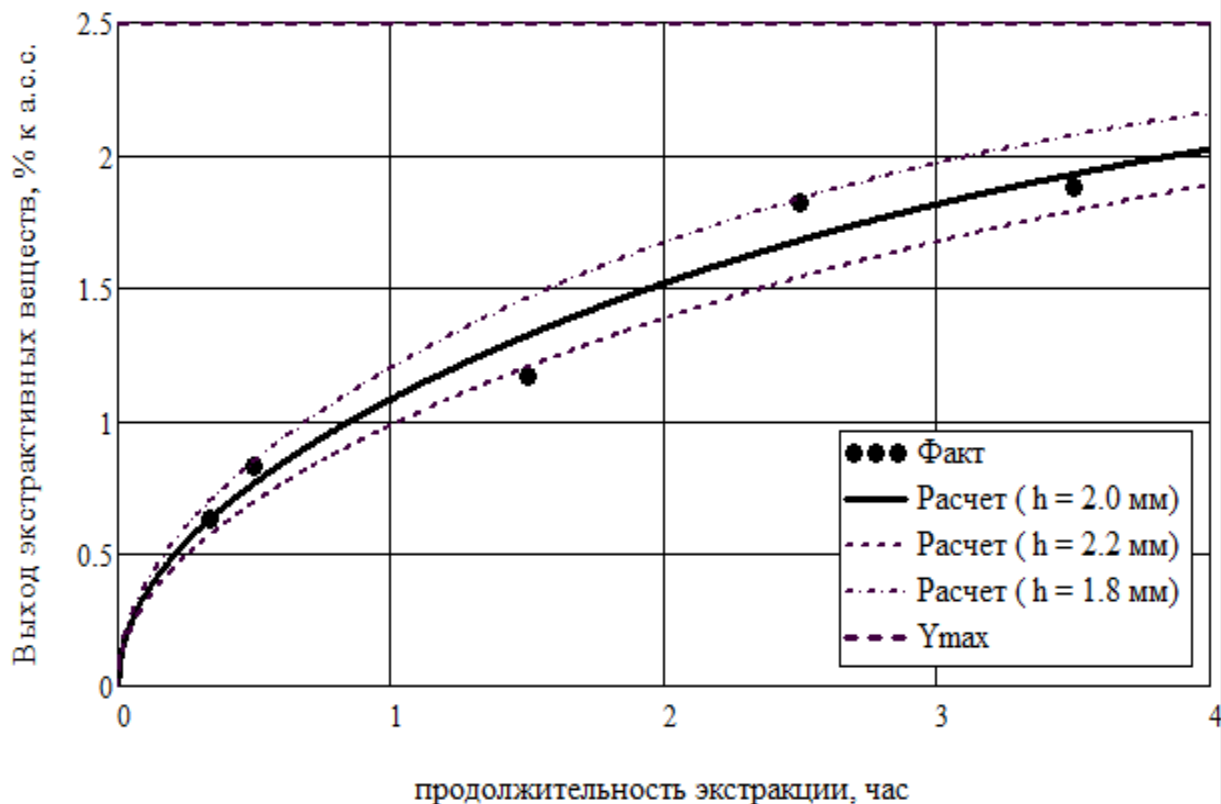
$C = 0$     $Y_{\max} = 4.911$     $D = 0.063 \text{ мм}^2/\text{мин}$     $Dd = 1.048 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$



$C = 40$     $Y_{\max} = 6.914$     $D = 0.031 \text{ мм}^2/\text{мин}$     $Dd = 5.227 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$



$$C = 95 \quad Y_{\max} = 2.496 \quad D = 0.010 \text{ мм}^2/\text{мин} \quad Dd = 1.634 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$$



Рисунки 2 - 3 – Графики зависимости выхода экстрактивных веществ от продолжительности экстракции

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

Оптимальные значения и границы интервалов измерений максимальных содержаний экстрактивных веществ, % от а.с.с. ( $Y_{\max}$ ) в зависимости от концентраций экстрагента, % (C) в экстрактах древесной зелени *Juniperus sibirica*, а так же рассчитанные коэффициенты диффузии в зависимости от концентрации экстрагента представлены на рисунках 4 - 5. Коэффициентом диффузии называют коэффициент массопередачи из твердого тела растительного сырья в жидкое [11].

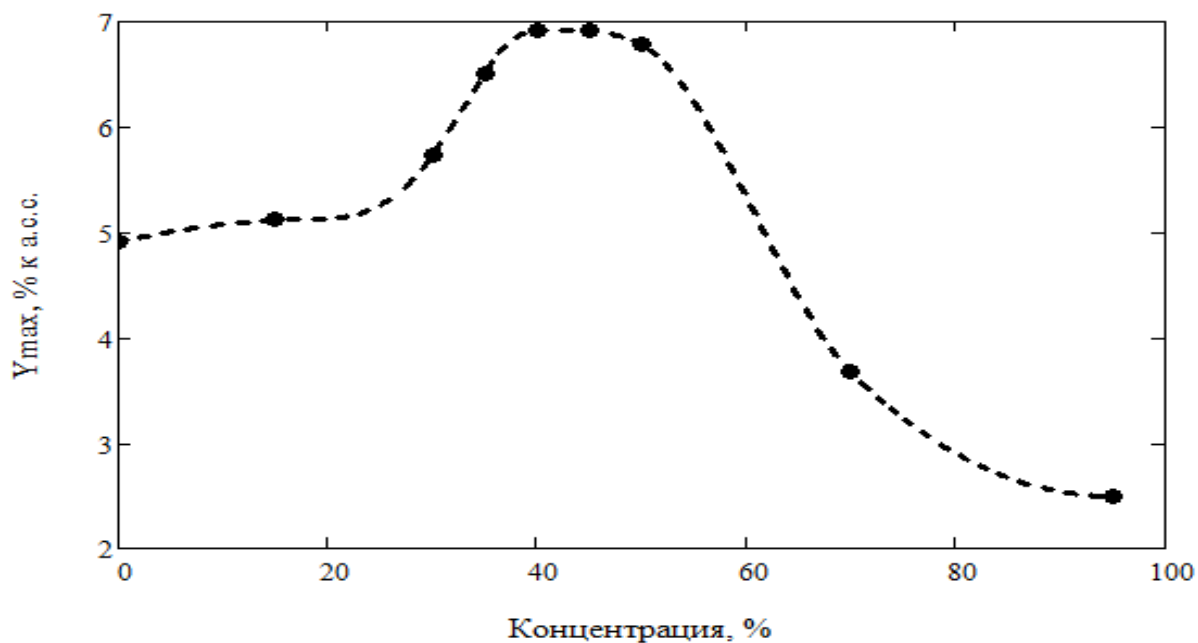


Рисунок 4 – Оптимальные значения и границы интервалов измерений максимальных выход экстрактивных веществ, % от а.с.с. ( $Y_{max}$ ) в зависимости от концентраций экстрагента, % ( $C$ ) в экстрактах древесной зелени *Juniperus sibirica*

На рисунке 4 видно увеличение максимального выхода экстрактивных веществ ( $Y_{max}$ ), а неравномерность при концентрации 30 - 45 % объясняется изменением состава экстрагируемых компонентов.

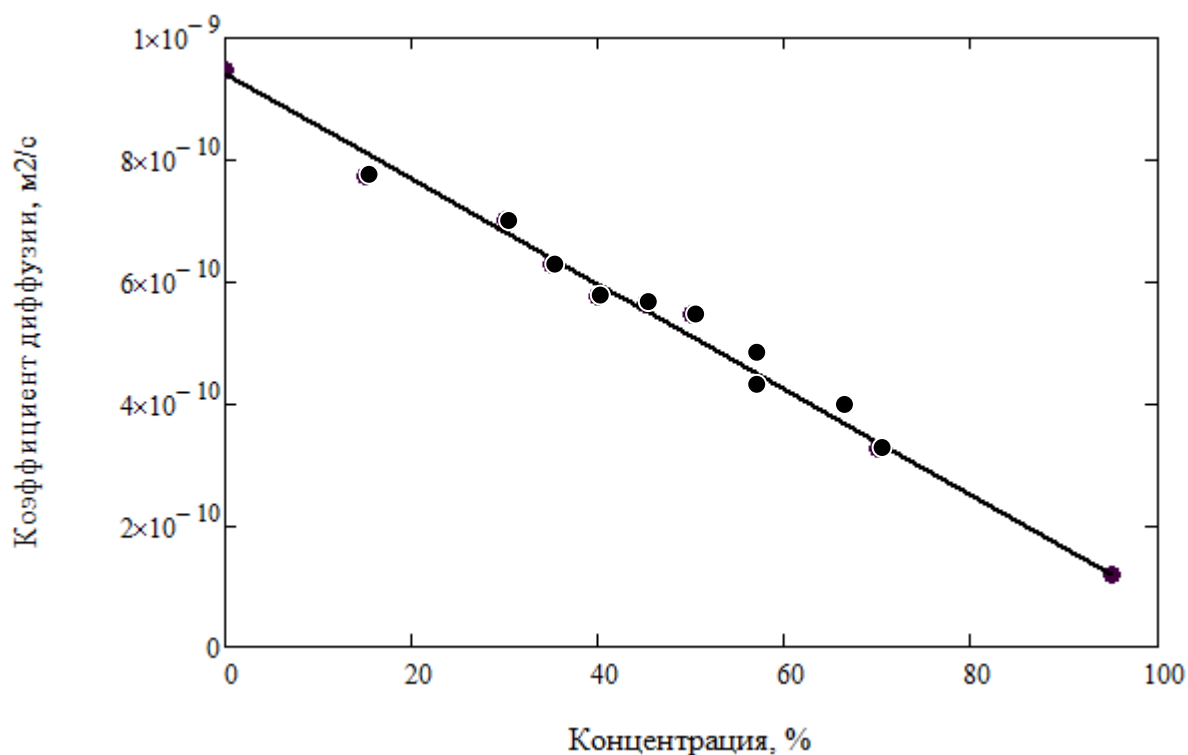


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента диффузии от концентрации экстрагента

Расчет коэффициентов диффузии выполнен с учетом корректировки по размеру сырья,  $m^2/s$ , с использованием уравнения линейной зависимости. Коэффициент диффузии (рис. 5) линейно уменьшается с увеличением концентрации, то есть увеличивается доля компонентов экстрагируемых эфиром.

Установлены основные закономерности выхода экстрактивных веществ в зависимости от концентрации экстрагента, и продолжительности экстракции. Рассчитанные коэффициенты диффузии при соответствующих концентрациях экстрагента, что является количественным показателем экстрагента для данного сырья.

**Заключение:** Показана адекватность математической модели динамики выхода экстрактивных веществ полученных из древесной зелени можжевельника сибирского водными растворами этилового спирта. Определено максимальное количество извлеченных экстрактивных веществ и коэффициенты диффузии в зависимости от концентрации растворителя.

### Литература

1. Н. И. Гринкевич, И. А. Баландина. Лекарственные растения.: Москва «Высшая школа» 1991; 398с.
2. ГОСТ 24027.2 – 80 «Сырье лекарственное растительное». М.: 1980; 284-294 с.
3. В. М. Ушанова, О. И. Лебедева, А.М. Девятловская. Основы научных исследований: Изд-во СибГТУ, Красноярск: 2004. 335 с.
4. Понаморев В.Г. Экстрагирование лекарственного сырья. М.: 1976; 204с.
5. Е. В. Матвеевко, Е. Н. Аёшина, Исследования экстрактивных веществ *Juniperus sibirica* В.. Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием). Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых./Красноярск: СибГТУ: Том 1, 2012; 399с. 276-277.
6. Е. Н. Аёшина, Н. А. Величко, Экстрактивные вещества *Juniperus sibirica* В. /Материалы всероссийской конференции «Химико-лесной комплекс – проблемы решения». Красноярск: 2004; Том 3. 37-39 с.
7. Е. В. Матвеевко, Е. Н. Аёшина, Н. А. Величко, Состав настоев древесной зелени *Juniperus sibirica* В./Вестник КрасГАУ: 2013; №7: 257-259 с.
8. Аксельруд, Г.А. Экстрагирование. Система твердое тело-жидкость/ Г.А.Аксельруд, В.М. Лысянский – Л.: Химия, 1974; – 356 с.
9. Ушанова, В.М. Исследование процесса экстрагирования коры пихты сибирской сжиженным диоксидом углерода/В.М. Ушанова, С.В. Ушанов, Вестник КрасГАУ: 2009; № 12. 39-44 с.
10. Ушанова, В.М. Экстрагирование древесной зелени и коры пихты сибирской сжиженным диоксидом углерода и водно-спиртовыми растворами/В.М. Ушанова, С.В. Ушанов. – Красноярск: 2009; 191 с.

11. Ушанов, С.В. Параметрическая идентификация моделей /С.В. Ушанов. – Красноярск: Литера-Принт, 2012. 199 с.