

УДК 663.443.1; 663.443.49

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0026

**ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТА ИЗ КОРНЕЙ *CODONOPSIS JAVANICA* (BLUME) HOOK.F. & THOMSON,
ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В РАЙОНЕ ТАУЖАНГА, ВЬЕТНАМ**

© 2021

Табакаева Оксана Вацлавовна, доктор технических наук, доцент,
профессор Департамента пищевых наук и технологий Института наук о жизни и биомедицины

Буй Зань Чунг, аспирант Института наук о жизни и биомедицины,

Чан Дык Куан, аспирант Школы естественных наук

Дальневосточный федеральный университет

(690920, Россия, Приморский край, г.Владивосток, п.Аякс, 10,

e-mails: yankovskaya68@mail.ru, danhchungbui@gmail.com)

Аннотация. Возможности использования растительного сырья в пищевой промышленности и фитотерапии далеко не исчерпаны. Экстрагирование биологически активных веществ (БАВ), с получением экстрактов, различных свойств и различной биологической активности, которые могут использоваться в различных направлениях является одним из важнейших процессов в технологиях переработки растений, в том числе и лекарственно-технических. Экстракция БАВ из растительного сырья имеет свои специфические особенности, в частности, связанные с операциями технологической подготовки, в которые входят процессы обезвоживания, измельчения, хранения сырья и т.д. Для эффективного процесса необходимо экспериментально определить и регулировать оптимальные технологические параметры экстрагирования. С целью разработки технологии экстракта из корней *C.javanica* (blume) Hook.f. & Thomson, произрастающего в районе Таужанга, Вьетнам, экспериментально и с применением математического моделирования путем определения оптимальных условий экстрагирования установлены параметры получения экстракта из сухого сырья – время 3,5 часа, температура 45°C, концентрация растворителя (этилового спирта) 45-49%, гидромодуль 1:7. Полученный экстракт имеет темно-коричневый цвет с желтоватым оттенком и достаточно приятный запах, вкус сладкий с горьковатым послевкусием. По результатам органолептической оценки установлено, что экстракт сохраняет присущие ему вкусо-ароматические свойства в процессе хранения в герметичной светонепроницаемой упаковке при температуре 20±10°C в течение 6 месяцев.

Ключевые слова: экстракт, *C.javanica*, математическое моделирование, параметры.

**OBTAINING AN EXTRACT FROM THE ROOTS OF *CODONOPSIS JAVANICA* (BLUME) HOOK.F. &
THOMSON, GROWING IN THE AREA OF TAUJANG, VIETNAM**

© 2021

Tabakaeva Oksana Vatslavovna, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the Department of food sciences and technologies of the Institute of life sciences and biomedicine

Bui Zan Chung, postgraduate student of the Institute of life sciences and biomedicine

Chan Duc Kuan, postgraduate student of the School of natural sciences

Far Eastern Federal University

(690920, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, Ajax, 10,

e-mails: yankovskaya68@mail.ru, danhchungbui@gmail.com)

Abstract. When using plant raw materials in the food industry and phytotherapy, the central process is the extraction of biologically active substances (BAS) contained in it to obtain extracts. Despite the apparent simplicity of the process, the extraction of BAS has its own specific features, in particular, related to the operations of technological preparation, which include the processes of dehydration, grinding, storage of raw materials, etc. For this it is necessary to select and adjust the optimal technological parameters of extraction. In order to develop the technology of extract from the roots of *C.javanica* (blume) Hook.f. & Thomson, growing in the area of Taujang, Vietnam experimentally and using mathematical modeling by determining the optimal extraction conditions, the parameters for obtaining an extract from the dry roots of *C.javanica* were established – time 3.5 hours, temperature 45°C, ethyl alcohol concentration 45-49%, hydromodule 1:7.

Keywords: extract, *C.javanica*, mathematical modeling, parameters.

Введение. Использование лекарственно-технических растений в пище и в медицине, в том числе и восточной традиционной известно с древних времен. При использовании растительного сырья в пищевой промышленности и фитотерапии одним из центральных и важнейших процессов является экстрагирование биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в нем, с получением экстрактов. Процесс

экстрагирования БАВ является многоступенчатым, состоящим из нескольких основных стадий [1-4].

Несмотря на кажущуюся простоту процесса, экстракция БАВ имеет свои специфические особенности, в частности, зависящие от операций технологической подготовки, в которые входят процессы обезвоживания, измельчения, хранения сырья и т.д. [5, 6].

Хотя подготовка является одним из важных и не-

обходимых процессов, но основным условием для полноты экстрагирования и получения качественного конечного продукта является стабильность экстракции и максимальная концентрация БАВ в конечном продукте. Для этого необходимо подобрать и регулировать оптимальные технологические параметры экстрагирования [7-9]. Все вышесказанное относится и к процессу получения экстракта БАВ из растения *Codonopsis javanica* (Blume) Hook.f. & Thomson.

В качестве сырья для получения экстрактов из *C. javanica* можно использовать свежие или высушенные корни, однако *C. javanica* – это сезонное растение (свежие корни можно добывать только с июня по сентябрь), поэтому использование свежего сырья круглогодично не предоставляется возможным, а выращивание в тепличных условиях не налажено. Помимо этого, корни *C. javanica* в свежем виде содержит много жидкости (сока), что создает определенные сложности для долгого хранения в обычных условиях и требует дополнительных затрат. Для оптимизации соотношения расхода экстрагента и максимального количества БАВ в экстракте, целесообразнее экстракт получать из корней, высушенных методом воздушно-теневого сушки. В корнях *C. javanica* содержится ряд БАВ: полисахарид инулин, алкалоиды сиригин, *N*-гексил *D*-глюкопиранозид, этил-*D*-фруктофуранозид, таншенонид *I* и холин [10-12]. Однако, экстрагирование этих веществ из *C. javanica* имеет ряд сложностей, в частности связанных с тем, что многие важные биологически активные соединения находятся в деревянной сердцевине, которая со временем твердеет и склеротизируется, что существенно усложняет процесс экстракции. Также процесс удаления воды обычно приводит к изменению свойств и химического состава [13,14]. Все это касается и корней *C. javanica*, как сырья, подвергающегося сушке. Высокое содержание воды в нативном способствовует увеличению скорости процессов гидролитического и ферментативного распада БАВ, что способно уменьшать биологическую активность нативного сырья [15]. Основываясь на этих закономерностях в настоящее время при производстве растительных экстрактов обычно используется сушка при пониженной температуре с помощью циркуляции воздуха, где температура процесса не выше 40°C, чтобы минимизировать изменения и снижение характеристики высушенного продукта.

При получении экстрактов также важны скорость и энергоемкость процесса. Необходимо отметить, что изменение физических свойств корней *C. javanica*, связанное с уменьшением содержания воды при сушке, приводит к значительному влиянию на все стадии процесса экстракции и является важной отличительной особенностью процесса извлечения БАВ [16]. Одним из способов увеличения скорости экстрагирования является увеличение поверхности раздела фаз, что может достигаться измельчением сырья, так как при этом увеличивается поверхность. Однако, при измельчении сырья следует иметь в виду, что слишком мелкие частицы могут наоборот уменьшить общую

скорость процесса [17]. В корнях *C. javanica* содержится большое количество полисахаридов, которые при контакте с жидкостью набухают и внешние слои частиц образуют липкие оболочки, что препятствует проникновению экстрагента. Именно это приводит к неравномерности процесса и уменьшения массообмена от частиц к жидкости в отдельных зонах слоя частиц. На полноту и скорость извлечения БАВ из высушенных корней *C. javanica* наряду с размером частиц сырья, и качеством сырья также существенно должно влиять количество экстрагента. Исходя из вышесказанного можно утверждать, что определяющими факторами, влияющими на эффективность экстракции биологически активных веществ из корней *C. javanica* являются: используемый экстрагент, температура, размеры частиц, соотношение сырья и экстрагента, а также продолжительность процесса. Таким образом, для разработки технологии получения экстрактов биологически активных веществ из корней *C. javanica* с учетом многофакторности процесса целесообразно использование научных математических методов, в частности, метода планирования многофакторного эксперимента [18].

Цель работы: разработка технологии экстракта из корней *C. javanica* (blume) Hook.f. & Thomson, произрастающего в районе Таужанга, Вьетнам.

Материалы и результаты исследования. В представленной работе объектом исследования являлись высушенные циркулированным воздухом корни *C. javanica*, собранные в районе Таужанг, Вьетнам, возраст корня 4 года. Корни *C. javanica* промыли проточной водой и высушили в воздушной сушильной установке модели *DS-86S/ DS-86M* корейского производителя *Dasol* при температуре сушки 45±5°C. Влажность сырья после сушки составляла 10.3%. В данном эксперименте использованы пластины толщиной 3мм, поскольку сухие корни *C. javanica* очень сильно набухают, что препятствуют процессу экстрагирования. Основываясь на данных об экстракционной способности экстрагентов были выбраны вода и водно-этанольная смесь, как растворители для извлечения фенольных соединений, различных органических кислот и их солей, витаминов.

Количественное содержание фенольных соединений определяли с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Метод основан на восстановлении смеси фосфорновольфрамовой и фосфорномолибденовой кислот в щелочной среде и является основным методом для определения общего содержания фенолов в лекарственном растительном сырье и пищевых продуктах [19]. Оптическую плотность растворов измеряли через 20 минут при 720 нм с помощью спектрофотометра «*UV-1800*» («*Shimadzu*», Киото, Япония). Пересчет в единицы концентрации проводили по градуировочному графику, полученному для стандартного полифенола рутина.

Полноту экстрагирования определяли выходом фенольных соединений (y), выраженным в процентах по отношению к начальному содержанию их в сырье;

в качестве варьируемых факторов: температура $t(x_1)$, концентрация этилового спирта (x_2), продолжительность экстрагирования (x_3), кодированные переменные X_1 , X_2 , X_3 соответственно. Основные уровни и шаги варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения уровней факторов и шагов варьирования

Условия планирования	Натуральные значения фактора		
	x_1 , °C	x_2 , % спирта	x_3 , ч
Основной уровень (0)	45	62.5	2.5
Интервал варьирования	10	5	1
Верхний уровень (+1)	50	60	3
Нижний уровень (-1)	40	65	2

На первом этапе провели выбор оптимального соотношения сырья и экстрагента (q), при этом другие условия оставили постоянным, а q было 1:3, 1:5, 1:7. Значения снимали каждый час, в результате получили данные, представленные на рисунке 1, при этом другие факторы остались постоянными ($T=45^\circ\text{C}$, $\tau=6$ час., 60% этилового спирта).

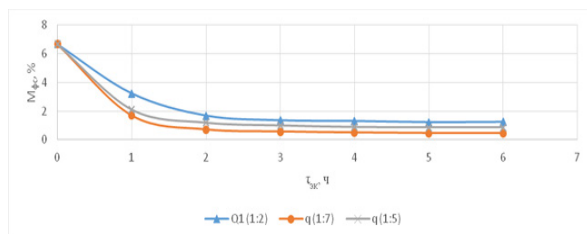


Рисунок 1 – Концентрационные кривые экстрагирования фенольных веществ из корней *C. Javanica* (составлено авторами)

Из графических зависимостей на рисунке 1 видно, что вместе с повышением соотношения экстрагента к сырью эффективность процесса увеличивается. При соотношении 1:2 после набухания количество экстрагента осталось слишком мало, что уменьшает массопередачу и не позволяет достичь максимальной эффективности. С увеличением количества экстрагента эффективность улучшается.

Уравнения графика можно записать следующим образом:

$$Y(1:2) = -0.0844x^3 + 1.0607x^2 - 4.2339x + 6.6095R^2 = 0.9962$$

$$Y(1:5) = -0.0844x^3 + 1.0607x^2 - 4.2339x + 6.6095R^2 = 0.9962$$

$$Y(1:7) = -0.1331x^3 + 1.5515x^2 - 5.5483x + 6.4271R^2 = 0.9731$$

Конечное количество фенольных веществ представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Количество фенольных веществ в полученном экстракте

Соотношение (q)	Конечное количество фенольных веществ в экстракте (мг/кг)
1:3	47 ± 3
1:5	53 ± 2
1:7	45 ± 3

Очевидно, хотя избыток растворителя увеличивает эффективность процесса, но при этом продукт слишком сильно разбавлен, он требует дополнительных операций по концентрированию, что не выгодно для промышленного производства. Таким образом, для дальнейших опытов принято постоянным значение

$q = 1:7$.

Выбор каждого параметра отдельно требует очень много времени и сил, вместе с этим возрастают и затраты на эксперименты, поэтому с целью сокращения продолжительности исследований использовали матрицу планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа 2^3 . При этом количество опытов рассчитали по формуле [20]:

$$N = 2^n + 2n + 1$$

При n – количество зависимых факторов, 2^n – количество опытов в звездных точках (табл. 2, опыты 9-14).

При этом измерения проводили двукратно, воспроизводимость опытов проверяли 6-тью параллельными опытами в серединой точке плана (табл. 3, опыты 15-20).

Таблица 3 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Опыт	X_1	X_2	X_3	x_1 , °C	x_2 , %	x_3 , ч	y , мг/кг
1	-1	-1	-1	40	60	2	38.1
2	1	-1	-1	50	60	2	40.9
3	-1	1	-1	40	65	2	39.0
4	1	1	-1	50	65	2	45.1
5	-1	-1	1	40	60	3	50.6
6	1	-1	1	50	60	3	54.9
7	-1	1	1	40	65	3	52.3
8	1	1	1	50	65	3	55.3
9	-1.68	0	0	35	62.5	2.5	40.2
10	1.68	0	0	55	62.5	2.5	46.3
11	0	-1.68	0	45	57.5	2.5	39.9
12	0	1.68	0	45	67.5	2.5	38.3
13	0	0	-1.68	45	62.5	1.5	35.3
14	0	0	1.68	45	62.5	3.5	53.7
15	0	0	0	45	62.5	2.5	43.2
16	0	0	0	45	62.5	2.5	42.9
17	0	0	0	45	62.5	2.5	43.5
18	0	0	0	45	62.5	2.5	43.8
19	0	0	0	45	62.5	2.5	43.1
20	0	0	0	45	62.5	2.5	44.0

Использование метода планирования полного факторного эксперимента типа 2^3 позволяет рассчитать регрессионные коэффициенты и одновременно построить на основе полученных данных уравнение первого порядка. Полную статистическую обработку экспериментальных данных, заключающуюся в вычислении коэффициентов, проверке их значимости, оценке воспроизводимости опытов и установлении адекватности полученного регрессионного уравнения произвели с помощью компьютерной программы *Excel*. Таким образом, были рассчитаны значения свободного члена b_0 , среднее арифметическое значение функции отклика \bar{y}_0 в центре эксперимента, оценка дисперсии разности $S^2(\bar{y}_0 - b_0)$ и доверительная ошибка разности ϵ (табл. 4).

Таблица 4 – Статистическая обработка результатов

Показатель	Значение
Свободный член, b_0	23.240
Среднее арифметическое значение функции отклика в центре эксперимента, \bar{y}_0	42.28
Оценка дисперсии разности, $S^2(\bar{y}_0 - b_0)$	5.92
Разность $ \bar{y}_0 - b_0 $	19.04
Доверительная ошибка разности ϵ	1.32

Далее получили уравнение:

$$y = 23,24 + 1,89X_1 + 0,32X_2 - 0,183X_{11} - 1,03X_{22} + 0,07X_{33} + 0,24X_1X_2 - 0,357X_2X_3 - 0,19X_1X_3$$

Далее определили оптимальные параметры экстрагирования x_1 , x_2 и x_3 , при которых выход фенольных веществ максимальный $y_1 = f(x_1, x_2, x_3)$. С помощью метода неопределенных множителей Лагранжа записали задачу оптимизации аналитически следующим образом:

$$\begin{cases} y = 23,24 + 1,89X_1 + 0,32X_2 - 0,183X_{11} - 1,03X_{22} + 0,07X_{33} + 0,24X_1X_2 - 0,357X_2X_3 - 0,19X_1X_3 \rightarrow \max \\ x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = R^2 \end{cases}$$

В ротатбельном планировании ограничением в факторном пространстве является радиус сферы R , центр которой совпадает с центром эксперимента. Составили целевую функцию F , которая включает сумму уравнения $f(x_1, x_2, x_3)$, подлежащего оптимизации и ограничения $\varphi(x_1, x_2, x_3)$, умноженного на неопределенный множитель Лагранжа λ

$$F = 23,24 + 1,89X_1 + 0,32X_2 - 0,183X_{11} - 1,03X_{22} + 0,07X_{33} + 0,24X_1X_2 - 0,357X_2X_3 - 0,19X_1X_3 + \lambda(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - R^2)$$

Решая с помощью матрицы Гессе найдены частные производные:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(x)}{\partial x_1} &= -0,366X_1 + 0,05X_2 + 1,89 + 2\lambda X_1 = 0 \\ \frac{\partial F(x)}{\partial x_2} &= 0,05X_1 - 2,06X_2 - 0,357X_3 + 0,32 + 2\lambda X_2 = 0 \\ \frac{\partial F(x)}{\partial x_3} &= -0,357X_2 + 0,14X_3 + 2\lambda X_3 = 0 \\ \frac{\partial F(x)}{\partial \lambda} &= x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - R^2 = 0 \end{aligned}$$

Для решения выше представленной системы уравнений с последующим вычислением значений функции отклика при изменении радиуса сферы R в диапазоне от 1,682 до 0 воспользовались интегрированным пакетом MAPLE 12 (табл. 5).

Таблица 5 – Матрица Гессе

Номер шага	R	X_1	X_2	X_3	λ	y, %
1	0	0	0	0		23,24
2	0.20	0.20	-0.04	0.00	-4.84	23.24
3	0.40	0.40	0.05	0.00	-2.37	23.39
4	0.60	0.60	0.07	0.01	-1.57	23.75
5	0.80	0.60	0.07	-0.01	-0.01	24.27
6	1.00	0.80	0.08	-0.01	-1.17	25.34
7	1.20	1.00	0.10	-0.02	-0.93	26.00
8	1.40	1.19	0.11	-0.03	-0.78	26.80
9	1.68	1.39	0.12	-0.04	-0.66	27.81

Таким образом, полученные значения демонстрируют, что при увеличении радиуса сферы R выход

экстрагированных фенольных веществ увеличивается. Однако, дальнейшее движение не имеет значение, так как имеется ограничение $-1,68 \leq X_j \leq 1,68$. Таким образом, оптимальными следует признать результаты, полученные на 9-ом шаге оптимизации, обеспечивающие достижение максимального выхода экстрактивных веществ. Натуральные значения факторов, являющиеся оптимальными условиями экстрагирования корней *C. javanica* представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Условия экстрагирования корней *C. javanica*

Условия экстрагирования	Натуральные значения фактора				
	x_1 , °C	x_2 , % спирта	x_3 , ч	пропорция сырье:экстрагент	размер слайсов, мм
Уровень (0)	45	58.94	3.46	1:7	2

Основываясь на полученных результатах и статистической обработке данных технология получения экстракта из корней *C. javanica* будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

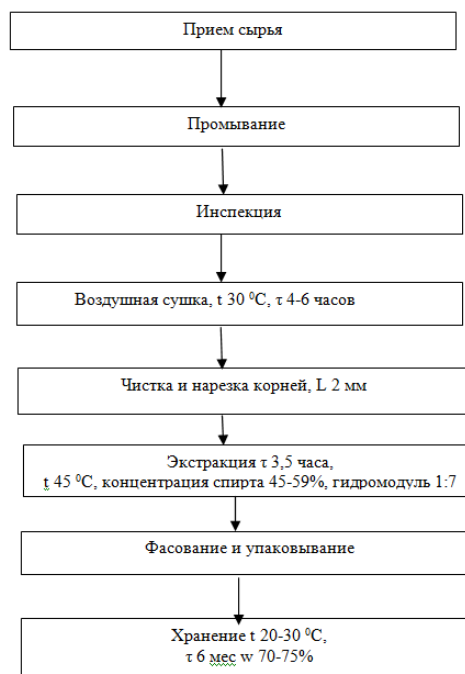


Рисунок 2 – Технологическая схема получения экстракта из корней *C. javanica* (составлено авторами)

Сырье после сортирования на поле сразу промывают и вторично сортируют, при этом выбираются четырехлетние, целые корни. Соответствующие по качеству корни проходят нарезку (толщина слайсов 3 мм). Слайсы помещают в емкость для экстрагирования, добавляют экстрагент в соотношении 1:7. Проводят нагревание до $45 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 3,5 часов. После окончания процесса полученный экстракт подвергается фильтрации, инспектируется на соответствие показателям качества, взвешивается, фасуется и упаковывается. Срок хранения составляет 6 месяцев.

Полученный экстракт имеет темно-коричневый цвет с желтоватым оттенком и достаточно приятный запах, вкус сладкий с горьковатым послевкусием. По результатам органолептической оценки установлено, что экстракт сохраняет присущие ему вкусоарома-

тические свойства в процессе хранения в герметичной светонепроницаемой упаковке при температуре $20 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 6 мес.

Закключение. Экспериментально и с применением математического моделирования путем определения оптимальных условий экстрагирования разработана технология экстракта из корней *C.javanica (blume) Hook.f. & Thomson*, произрастающего в районе Тау-жанга, Вьетнам. Установленные параметры получения экстракта – время 3,5 часа, температура 45°C , концентрация этилового спирта 45-49%, гидромодуль 1:7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ищенко В.И. Промышленная технология лекарств. УО «Витебский государственный медицинский университет», 2012. 568 с.
2. Леонова М.В., Климочкин Ю.Н. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья. Самарский государственный технический университет, 2012. 112 с.
3. Пономарев В.Д. Экстрагирование лекарственного сырья. М.: Медицина, 1976. 204 с.
4. Аксельруд В.А., Лысянский В.М. Экстрагирование С-Пб.: Химия, 1974. 256 с.
5. Малышев Р.М., Кутепов А.М., Золотников А.Н. Процессы пульсационной экстракции из растительного сырья // Теоретические основы химических технологий. 2001. №1. С.57-60.
6. Краснюк И.И., Михайлова Г. В., Чижова Е.Т. Фармацевтическая технология: технология лекарственных форм. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 464 с. .
7. Жматова Г.В. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник ТГТУ. 2005. Т.11. № 3. С. 701 – 707.
8. Вайнштейн В.А., Каухова И.Е. Двухфазная экстракция в получении лекарственных и косметических средств. СПб, 2010. 104 с.
9. Халитова Э.Ш. Исследование процесса извлечения экстрактивных веществ из растительного // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской науч.-метод. конф. Оренбург. 2015. С. 1021 – 1025.
10. Н. М. Т. Pham Xuan Sinh, First step of study on saponin composition of the danseng of vietnam // Pharmacy. 2002. V. 34. pp. 6-9.
11. Tran Thanh Ha, Do Thi Ha Chemical composition of n-butanol extract of Vietnamese danseng roots Codonopsis javanica (Blume) Hook. f. // Pharmacy. 2016. V. 480. pp. 35-39.
12. Nguyen Thi Thang Long Dinh Thi An, Trinh Thi Diep Chemical constituents of n-hexane extract from codonopsis javanica (blume) hook.F. Roots collected in Lamdong province of Vietnam // Journal medical and treament Hue. 2020, V. 10(1). pp. 25-29.
13. Штрыкова В.В. Получение биологически активных веществ из растительного сырья: лабораторный практикум. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 36 с.
14. Минина С.А., И.Е. Каухова Химия и технология фитопрепаратов. М.: Издательский дом «ГЭОТАР-МЕД», 2004. 560 с.
15. Солдатенков А.Т., Колядина М.Н., Шендрик И.В. Основы органической химии лекарственных веществ. М.: Мир, 2003. 192 с.
16. Пшуков, Ю.Г., Гужева Н.Н., Стоянова Е.В. Совершенствование технологии жидких экстрактов как фактор сохранения природных ресурсов // Фармация в XXI веке: инновации и традиции: Тезисы докладов международной научной конференции. 1999. С.69.
17. П. В. Попов Диффузия: учебно-методическое пособие по курсу Общая физика. М.: МФТИ, 2016. 58 с.
18. Реброва И. А. Планирование эксперимента. Омск. СибАДИ, 2010. 107 с.
19. FFS 1.5.3.0008.15 the Determination of tannins in herbal drugs and medicinal plant preparations. Available at: http://193.232.7.120/feml/clinical_ref/pharmacopoeia_2/HTML/#417/z Russian
20. Хамханов К.М. Основы планирования эксперимента. Улан-Удэ, 2001. 89с.

Статья поступила в редакцию 29.10.2021

Статья принята к публикации 07.12.2021