

УДК 615.322

<https://doi.org/10.33380/3034-3925-2026-3-3-90>

О возможности прессования растительного сырья корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.)

А. С. Гуленков^{1, 3} , А. Н. Цицилин¹ , И. А. Липчак² ,
П. Г. Мизина¹ 

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (ФГБНУ «ВИЛАР»). 117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7, стр. 1

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева). 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49

³ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» (РХТУ им. Д. И. Менделеева; ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева; РХТУ). 125047, Россия, г. Москва, Миусская площадь, д. 9

✉ **Контактное лицо:** Гуленков Александр Сергеевич. **E-mail:** gulenkovas@yandex.ru

Резюме

Введение. Проблема выделения микро- и наночастиц пластика (микропластика) из фильтр-пакетов при приготовлении настоев и отваров из растительного сырья представляет собой актуальную медико-социальную задачу. Одним из перспективных решений является отказ от фильтр-пакетов в пользу дозированных брикетов, полученных методом прямого прессования растительного сырья.

Цель. Установить оптимальный диапазон давления прессования измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.), обеспечивающий получение технологичной продукции, пригодной для применения в пищевой и фармацевтической промышленности.

Материалы и методы. Исследовали три фракции измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (с размером частиц 500–1000, 180–250 и 50–100 мкм). Проводили комплексную фармацевтико-технологическую оценку сырья (насыпная плотность, сыпучесть, влажность и др.). Брикет массой 100 мг получали при давлении прессования от 31 до 311 МПа. Для анализа прессуемости использовали метод SeDeM, уравнения Хеккеля и Кавакиты. Оценивали прочность брикетов и время их распадаемости в воде очищенной свежeproкипяченной.

Результаты и обсуждение. Индекс хорошего прессования (GCI) по методу SeDeM был ниже порогового значения (5,0) для всех фракций, однако крупная фракция (500–1000 мкм) показала наилучший результат (4,55). С помощью моделей Хеккеля и Кавакиты установлены оптимальные диапазоны давления прессования для каждой фракции. Для наиболее оптимальной по технологическим показателям фракции 500–1000 мкм этот диапазон составил 0,687–222,2 МПа. Экспериментально установлено, что давление 30 МПа является оптимальным, обеспечивая получение прочных брикетов с временем распадаемости в воде очищенной свежeproкипяченной менее 60 с, что приемлемо для потребителя.

Заключение. Установлено, что оптимальной для брикетирования является фракция частиц измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) размером 500–1000 мкм. Оптимальное давление прессования для получения брикетов, быстро распадающихся в воде очищенной свежeproкипяченной, составляет 30 МПа. Измельченные корни цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) могут выступать в качестве технологического компонента, улучшающего сыпучесть, в составе комбинированных растительных сборов для брикетирования.

Ключевые слова: корни цикория обыкновенного, прессование растительного сырья, брикетирование растительного сырья, таблетки из растительного сырья, таблетки из растений, микропластик, брикеты из растительного сырья, SeDeM

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Гуленков А. С., Цицилин А. Н., Липчак И. А., Мизина П. Г., 2026

© Издатель ООО «Центр Фармацевтической Аналитики», 2026

© Gulenkov A. S., Tsitsilin A. N., Lipchak I. A., Mizina P. G., 2026

© Publisher LLC "Center of Pharmaceutical Analytics", 2026

Вклад авторов. А. С. Гуленков, А. Н. Цицилин и П. Г. Мизина разработали дизайн эксперимента. А. Н. Цицилин и И. А. Липчак заготовили растительное сырье. А. С. Гуленков и И. А. Липчак провели лабораторные испытания. А. С. Гуленков написал первичный вариант рукописи. Все авторы принимали участие в обсуждении финальной версии публикации.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы FGUU-2025-0002 (ФГБНУ ВИЛАР).

Для цитирования: Гуленков А. С., Цицилин А. Н., Липчак И. А., Мизина П. Г. О возможности прессования растительного сырья корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.). *Гербарум*. 2026;3(3):27–39. <https://doi.org/10.33380/3034-3925-2026-3-3-90>

Поступила в редакцию: 28.04.2026

Поступила после рецензирования: 26.06.2026

Принята к публикации: 16.07.2026

On the possibility of compressing herbal raw material from *Cichorium intybus* L. roots

Alexander S. Gulenkov^{1, 3} , Andrey N. Tsitsilin¹ , Ivan A. Lipchak² ,
Praskovya G. Mizina¹ 

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants. 7/1 Grina str., Moscow, 117216, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

³ Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Mendeleev University; MUCTR). 9, Miusskaya ploshchad', Moscow, 125047, Russia

✉ **Corresponding author:** Alexander S. Gulenkov. **E-mail:** gulenkovas@yandex.ru

Abstract

Introduction. The release of micro- and nanoplastic particles (microplastics) from filter bags during the preparation of infusions and decoctions from plant materials is a relevant medical and social problem. One promising solution is to replace filter bags with dosed briquettes obtained by direct compression of plant materials.

Aim. To establish the optimal pressure range for compressing ground *Cichorium intybus* L. roots, ensuring the production of a technological product suitable for use in the food and pharmaceutical industries.

Materials and methods. Three fractions of ground *Cichorium intybus* L. roots (with particle sizes of 500–1000, 180–250, and 50–100 µm) were studied. A comprehensive pharmaceutical-technological assessment of the raw material was carried out (bulk density, flowability, moisture content, etc.). Briquettes weighing 100 mg were obtained at compression pressures ranging from 31 to 311 MPa. The SeDeM method, Heckel and Kawakita equations were used to analyze compressibility. Briquette strength and disintegration time in freshly boiled purified water were evaluated.

Results and discussion. The Good Compression Index (GCI) according to the SeDeM method was below the threshold value (5.0) for all fractions; however, the coarse fraction (500–1000 µm) showed the best result (4.55). Using Heckel and Kawakita models, optimal compression pressure ranges for each fraction were established. For the most technologically optimal fraction of 500–1000 µm, this range was 0.687–222.2 MPa. It was experimentally determined that a pressure of 30 MPa is optimal, ensuring the production of strong briquettes with a disintegration time in freshly boiled purified water of less than 60 seconds, which is acceptable for the consumer.

Conclusion. It was established that the optimal fraction for briquetting is ground *Cichorium intybus* L. roots with a particle size of 500–1000 µm. The optimal compression pressure for obtaining rapidly disintegrating briquettes in freshly boiled purified water is 30 MPa. Ground *Cichorium intybus* L. roots can serve as a technological component to improve flowability in combined herbal mixtures intended for briquetting.

Keywords: *Cichorium intybus* L. roots, herbal raw material compaction, herbal material briquetting, compressed herbal tablets, plant-derived tablets, microplastics, herbal briquettes, SeDeM expert system

Conflict of interests. The authors declare that they have no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. The experiment was designed by Alexander S. Gulenkov, Andrey N. Tsitsilin, and Praskovya G. Mizina. The plant material was prepared by Andrey N. Tsitsilin and Ivan A. Lipchak. Laboratory tests were conducted by Alexander S. Gulenkov and Ivan A. Lipchak. The initial draft of the manuscript was written by Alexander S. Gulenkov. All authors contributed to the discussion of the final version of the publication.

Funding. This work was carried out within the framework of project FGUU-2025-0002 (FGBNU VILAR).

For citation: Gulenkov A. S., Tsitsilin A. N., Lipchak I. A., Mizina P. G. On the possibility of compressing herbal raw material from *Cichorium intybus* L. roots. *Herbarium*. 2026;3(3):27–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/3034-3925-2026-3-3-90>

Received: 28.04.2026

Revised: 26.06.2026

Accepted: 16.07.2026

Введение

Выделение микро- и наночастиц пластика (микропластик – термин введен Томпсоном в 2004 году [7]) при приготовлении настоев и отваров из растительного сырья (чай, лекарственные растения), расфасованного в фильтр-пакеты (синтетические и целлюлозные), является медицинской и социальной проблемой¹ [2, 4–6], которой активно занимаются различные исследователи в последние 15 лет. По данным платформы PubMed, количество научных публикаций по запросу «microplastics» начинает расти с 2012 года (16 публикаций) и достигает 4996 публикаций в 2025 году².

Несмотря на то что научные данные о клиническом значении микропластика разнятся и нет однозначных данных о неблагоприятном воздействии на организм человека [6, 8], принцип безопасности и здоровьесбережения обязывает научное сообщество осуществлять шаги к решению данной потенциальной проблемы. Эти принципы согласуются с планом мероприятий (дорожной картой) Национальной технологической инициативы (ДК НТИ) «Хелснет» до 2035 г., утвержденным решением президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 20.12.2016 и подписанным председателем правительства Д. А. Медведевым 29.12.2016 года, где одним из основных направлений реализации является превентивная медицина¹.

Растительное сырье россыпью (ангро) для приготовления водных извлечений (чаи, настои, отвары) обладает рядом недостатков: неточностью дозирования, неудобством использования в путешествиях и др., которые снижают потребительский интерес. Потребительское преимущество растительного сырья в фильтр-пакетах заключается в точной дозировке (обычно 1,5–2,0 г растительного сырья), простоте приготовления напитка. Однако и в этом случае воз-

никает ряд проблем (выделение микро- и наночастиц пластика), которые требуют положительного решения.

Таким образом, возникает необходимость разработки технологического подхода к получению дозированной формы растительного сырья, которая будет обладать потребительскими преимуществами, но не будет содержать фильтр-пакета, который выделяет микропластик в настой или чай.

Одним из вариантов решения данной проблемы может быть получение брикетов растительного сырья путем прессования (аналогично таблетированию).

В качестве объекта исследования выбрали растительное сырье – корни цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.), используемого как в пищевой, так и в фармацевтической промышленности.

Цель исследования – установить оптимальный диапазон давления прессования таблеток (брикетов) корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.), обеспечивающий получение технологичной продукции, пригодной для применения в пищевой и фармацевтической промышленности.

Материалы и методы

Материалы

Заготовка растительного сырья: уборку корней цикория (*Cichorium intybus* L.), выращенных на опытном поле ФГБНУ ВИЛАР в 2025 г., проводили в II декаде сентября в сухую теплую погоду до наступления заморозков. После выкопки и удаления надземной части корни очищали руками от комьев земли и взвешивали с точностью ± 1 г. Корни промывали холодной водой, нарезали на части толщиной 3–5 мм и высушивали при 60 °С до остаточной влажности не более 14 %.

Сырье измельчали на лабораторной мельнице (ЛЗМ-1, Россия) и просеивали через сита с различным размером ячеек. Для эксперимента выбрали следующие фракции:

- 1) 500–1000 мкм – традиционно используемая фракция растительного сырья (нижний диапазон) (ОФС.1.4.1.0018 «Настои и отвары»);
- 2) 180–250 мкм – фракция, на которой сохраняется оптимальная возможность микроскопической идентификации растительного сырья [3];
- 3) 50–100 мкм – пылевидная фракция сырья.

¹ Национальная технологическая инициатива «Хелс-Нет». Доступно по: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/23/stranitsa-967/natsionalnaya-tehnologicheskaya-initsiativa-helsnet> Ссылка активна на 12.01.2026.

² National Library of Medicine. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=microplastics&sort=pubdate&timeline=expanded> Accessed: 12.01.2026.

Методы

Фармацевтико-технологические методы

1. Оценку **насыпной плотности** (до уплотнения (*Bulk Density*) – далее D_a , формула 1; после уплотнения (*Tapped Density*) – далее D_c , формула 2) проводили по ОФС.1.4.2.0024 «Насыпная плотность и плотность после уплотнения» на тестере насыпной плотности ETD-10 при (250 ± 15) соскоков/мин с высоты $(3 \pm 0,2)$ мм (Electrolab, Индия). Рассчитывали индексы Хауснера (*Hausner Index ratio* – далее I_H , формула 3) и Карра (*Carr Index* – далее I_C , формула 4), а также межчастичную пористость (*Inter-particle Porosity* – далее I_e , формула 5).

$$D_a = \frac{m}{V_a}, \quad (1)$$

где D_a – насыпная плотность до уплотнения, г/мл; m – масса образца, г; V_a – объем образца до уплотнения, мл.

$$D_c = \frac{m}{V_c}, \quad (2)$$

где D_c – насыпная плотность после уплотнения, г/мл; m – масса образца, г; V_c – объем образца после уплотнения, мл.

$$I_H = \frac{D_c}{D_a}, \quad (3)$$

где I_H – индекс Хауснера.

$$I_C = 100 \cdot \frac{D_c - D_a}{D_c}, \quad (4)$$

где I_C – индекс Карра (коэффициент сжимаемости).

$$I_e = \frac{D_c - D_a}{D_c \cdot D_a}, \quad (5)$$

где I_e – межчастичная пористость.

2. Оценку **сыпучести** (*Powder Flow* – далее t) и **угла естественного откоса** (*Angle of Repose* – далее α) проводили по ОФС.1.4.2.0016 «Сыпучесть порошков» на ручном тестере для измерения сыпучести EFT-01 (Electrolab, Индия). Тип воронки – бункер, диаметр выпускного отверстия – 25 мм, 15 мм, 10 мм, при проведении испытаний вибрация не допускалась.
3. **Прессование брикетов** проводили на ручном таблеточном прессе ПРГ-1-50 (ВНИР, Россия) при различном давлении прессования. Диаметр матричного отверстия – 6 мм, масса сырья – 100 мг. Наложение давления производили с одинаковой скоростью от 31 до 311 МПа, выдерживая его в

течение 15 с. Брикеты оставляли на 60 мин для осуществления процесса релаксации [1], после чего изучали различные фармацевтико-технологические показатели.

4. Испытание **прочности таблеток на раздавливание** проводили по ОФС.1.1.1.0017 «Прочность таблеток на раздавливание» на тестере прочности РТВ 420 (Pharma Test, Германия).
5. **Механическую прочность брикетов** проверяли путем свободного падения с высоты 1 м на деревянную поверхность. Брикет считали достаточно прочным в случае отсутствия видимых сколов и разрушения формы.
6. Оценку **распадаемости брикетов растительного сырья** проводили путем помещения в воду очищенную свежeproкипяченную (100°C) и фиксации времени полной распадаемости (деструкции) формы.
7. Определение **влажности** проводили на влагомере весовом ML-50 (A&D, Япония) по ОФС.1.5.3.0007.
8. **Гигроскопичность** определяли по ОФС.1.1.0042.
9. Определение **фракционного состава** проводили по ОФС.1.4.2.0032 «Ситовой анализ» с комплектом фармакопейных сит (размер ячеек – 1000 мкм, 500 мкм, 315 мкм, 200 мкм, 100 мкм, 50 мкм) (ООО «Крафт», Россия).
10. **Истинную плотность** устанавливали методом вытеснения жидкости с использованием несмешивающегося растворителя (гексан, ООО «АЛЬДО-СА», Россия) [1].

Математические методы

SeDeM expert system

Метод заключается в экспериментальной оценке 12 технологических показателей сыпучего материала, их преобразовании в радиусы SeDeM-диаграмм со значением от 0 до 10, по которым рассчитываются 5 факторов и индекс хорошего прессования (GCI), характеризующие пригодность сыпучего материала для прямого прессования (таблица 1) [9].

В настоящей работе были исключены такие технологические параметры, как содержание частиц менее 50 мкм и индекс гомогенности, поскольку для изучения выбраны изолированные фракции измельченного сырья.

Для оценки пригодности порошка для прямого прессования рассчитывают следующие индексы.

1. **Параметрический индекс** (*Parameter Index, IP*):

$$IP = \frac{n^{\circ}P \geq 5}{n^{\circ}Pt}, \quad (6)$$

где $n^{\circ}P \geq 5$ – количество параметров с радиусом ≥ 5 ; $n^{\circ}Pt$ – количество исследуемых параметров.

Таблица 1. Технологические параметры и способы их преобразования в радиусы SeDeM

Table 1. Technological parameters and the corresponding conversion formulas for calculating SeDeM radii

Фактор Incidence factor	Технологический параметр Parameter	Символ Symbol	Ед. изм. Unit	Расчетная формула Formula	Пределные значения технологического показателя (V) Acceptable ranges (V)	Формула расчета радиуса SeDeM-диаграмм (r) Equation to convert values to SeDeM radius values (r)
Объемный фактор, ID Dimension, ID	Насыпная плотность до уплотнения Bulk Density	Da	г/мл	$Da = m/Va^*$	0–1 г/мл	10v
	Насыпная плотность после уплотнения Tapped Density	Dc	г/мл	$Dc = m/Vc^*$	0–1 г/мл	10v
Сжимаемость, IC Compressibility, IC	Межчастичная пористость Inter-particle Porosity	Ie	–	$Ie = (Dc - Da)/(Dc \cdot Da)$	0,0–1,2	10v/1,2
	Индекс Карра Carr Index	IC	%	$IC = (Dc - Da)/(Dc \cdot 100)$	0,0–50,0 %	v/5
	Прессуемость Cohesion Index	Icd	H	экспериментально experimentally	0,0–200,0 H	v/20
Сыпучесть, IF Flowability / Powder Flow, IF	Индекс Хауснера Hausner Index ratio	IH	–	$IH = Dc/Da$	3–1	(30–10v)/2
	Угол естественного откоса Angle of Repose	α	°	$tg \alpha = h/r^*$	50–0°	10–(v/5)
	Сыпучесть Powder Flow	t	с	экспериментально experimentally	20–0 с	10–(v/2)
Устойчивость, IS Stability, IS	Влажность Loss on Drying	%LoD / %HR	%	экспериментально experimentally	10–0 %	10–(10v/2,5)
	Гигроскопичность Hygroscopicity	%H	%	экспериментально experimentally	20–0 %	10–(v/2)
Дозирование, IDos Dosage, IDos	Содержание частиц менее 50 мкм Particles <50 μm	%Pf	%	экспериментально experimentally	50–0 %	10–(v/5)
	Индекс гомогенности Homogeneity Index	IO	–	$IO = Fm/100 + \Delta Fmn^a$	0–2 · 10 ^{–2}	(5 · 10 ²)v

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

2. Параметрический индекс профиля (Parameter Profile Index, IPP):

$$IPP = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n^0 Pt}, \quad (7)$$

где r_i – значения радиусов изучаемых параметров;
 $n^0 Pt$ – количество исследуемых параметров.

3. Индекс хорошего прессования (Good Compression Index, GCI):

$$GCI = IPP \cdot f, \quad (8)$$

где f – фактор надежности (reliability factor).

Фактор надежности (f) прямо пропорционален количеству учитываемых параметров. Теоретически при учете бесконечного количества параметров график должен принять форму круга и иметь максимально возможную площадь, при этом фактор надежности будет равен 1. В реальности при учете n параметров график приобретает форму правильно-го n -угольника.

Для расчета фактора надежности использовали формулы площадей круга и правильного многоугольника.

Площадь круга:

$$S = \pi R^2. \quad (9)$$

Площадь правильного n -угольника:

$$S_n = \frac{1}{2} R^2 \cdot n \cdot \sin \frac{360^\circ}{n}, \quad (10)$$

где R – радиус описанной окружности; n – количество углов.

Приравнивая площадь круга (S) к фактору надежности (f), получаем, что S будет равна 1. Тогда из формулы 9 следует, что $R^2 = 1/\pi$. Подставляя R^2 в уравнение площади правильного n -угольника (формула 10), выводим формулу для вычисления фактора надежности для n учитываемых параметров (формула 11 и рисунок 1):

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot n \cdot \sin \frac{360^\circ}{n}, \quad (11)$$

где n – количество учитываемых параметров.

SeDeM-диаграммы строили и математически обрабатывали с использованием программного обеспечения MS Office Excel 2021.

Модель Хеккеля

Модель Хеккеля, описываемая уравнением (12), дает возможность проанализировать взаимосвязь между приложенным давлением и пористостью спрессованных брикетов.

$$n \frac{1}{E} = kP + A. \quad (12)$$

Анализ линейного участка графика (зависимость $\ln(1/E)$ от силы прессования P) дает понимание поведения частиц в процессе прессования. Выделяют три основных этапа: на первой стадии происходит в основном перемещение и переупаковка частиц; на второй – необратимая пластическая деформация; на третьей стадии – разрушение (фрагментация) частиц под действием экстремальных нагрузок [1].

Для построения графика Хеккеля необходимо произвести расчеты по формулам 13 и 14:

$$D = \frac{\rho_{\text{см}}}{\rho_{\text{ист}}}, \quad (13)$$

где D – относительная плотность; $\rho_{\text{см}}$ – относительная плотность спрессованного материала, г/мл; $\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность порошка, г/мл.

$$E = 1 - D, \quad (14)$$

где E – пористость.

Зависимость $\ln(1/E)$ от P строили и математически обрабатывали с использованием программного обеспечения MS Office Excel 2021.

Модель Кавакиты

Модель Кавакиты, описывающая уменьшение объема прессуемого материала (порошка) при сжатии, представлена уравнением 15 [10]:

$$\frac{P}{C} = \frac{P}{a} + \frac{1}{a \cdot b}, \quad (15)$$

где P – приложенное давление, МПа; C – степень уменьшения объема порошка; a и b – константы, где a представляет максимальную степень сжатия, а $1/b$ (P_k) – давление, необходимое для достижения порошком половины максимального уменьшения объема (или $a/2$) (уравнение 16).

$$P_k = \frac{1}{b}, \quad (16)$$

$$C = \frac{V_0 - V_p}{V_0} = \frac{a \cdot b \cdot P}{(1 + b \cdot P)}, \quad (17)$$

где V_0 – начальный объем порошка, мл; V_p – объем порошка (брикета/таблетки) при давлении P , мл.

$$V_0 = \frac{m_{\text{табл.}}}{Da}, \quad (18)$$

где Da – насыпная плотность до уплотнения, г/мл.

$$V_p = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h, \quad (19)$$

где d – диаметр таблетки при конкретном значении P , см; h – высота таблетки при конкретном значении P , см.

Зависимость P/C от P строили и математически обрабатывали с помощью программного обеспечения MS Office Excel 2021.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты фармацевтико-технологических показателей различных фракций измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) представлены в таблице 2.

Оценили пригодность к прямому прессованию различных фракций измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) с помощью метода SeDeM (рисунок 1).

Индекс хорошего прессования (GCI) для всех образцов менее 5, что указывает на технологические сложности, которые могут возникнуть при использовании таких порошков для прессования.

Факторы SeDeM-диаграмм представлены на рисунке 2.

**Таблица 2. Фармацевтико-технологические показатели различных фракций
измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.)****Table 2. Pharmaceutical-technological parameters of different fractions of ground *Cichorium intybus* L. roots**

Показатель Parameter	Фракции корней цикория обыкновенного (<i>Cichorium intybus</i> L.), мкм Fractions of <i>Cichorium intybus</i> L. roots, μm		
	500–1000	180–250	50–100
Насыпная плотность до уплотнения, г/мл Bulk Density, g/mL	0,461 $\pm$ 0,002	0,350 $\pm$ 0,001	0,285 $\pm$ 0,001
Насыпная плотность после уплотнения, г/мл Tapped Density, g/mL	0,562 $\pm$ 0,001	0,427 $\pm$ 0,000	0,394 $\pm$ 0,001
Межчастичная пористость Inter-particle Porosity	0,389 $\pm$ 0,000	0,514 $\pm$ 0,000	0,966 $\pm$ 0,000
Индекс Карра, % Carr Index, %	17,92 $\pm$ 0,21	18,00 $\pm$ 0,13	27,55 $\pm$ 0,34
Прессуемость, Н Cohesion Index, N	104,8 $\pm$ 3,6	82,5 $\pm$ 4,9	97,5 $\pm$ 3,7
Индекс Хауснера Hausner Index ratio	1,22 $\pm$ 0,00	1,22 $\pm$ 0,00	1,38 $\pm$ 0,02
Угол естественного откоса, град (°) Angle of Repose, deg (°)	28,42 $\pm$ 0,33	28,66 $\pm$ 0,46	28,71 $\pm$ 0,79
Сыпучесть, с/100 г Powder Flow, s/100 g			
10 мм 10 mm	13,01 $\pm$ 0,42	21,30 $\pm$ 2,46	39,49 $\pm$ 4,41
15 мм 15 mm	6,21 $\pm$ 0,50	9,97 $\pm$ 0,32	16,39 $\pm$ 1,47
25 мм 25 mm	2,58 $\pm$ 0,33	5,22 $\pm$ 0,32	7,94 $\pm$ 0,71
Влажность, % Loss on Drying, %	6,3 $\pm$ 0,0	6,8 $\pm$ 0,0	7,0 $\pm$ 0,0
Гигроскопичность, % Hygroscopicity, %	14,2 $\pm$ 0,3	15,9 $\pm$ 0,2	16,3 $\pm$ 0,3

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

Установили, что по мере уменьшения размера частиц растительного сырья корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) уменьшается объемный фактор, сыпучесть и устойчивость, а также увеличивается сжимаемость. Наибольшие значения для всех фракций измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) имеет фактор сыпучести, что позволяет использовать их в составе растительных сборов для повышения сыпучести всей смеси. Индекс хорошего прессования имеет вариативность, увеличение показателя для мелкой фракции связано с повышением фактора сжимаемости за счет роста значения межчастичной пористости.

Оценили прессуемость брикетов из измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.). На основании полученных данных построили

кривые Хеккеля (рисунок 3, А) и Кавакиты (рисунок 3, Б).

Значения коэффициентов уравнений Хеккеля и Кавакиты для различных фракций корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) представлены в таблице 3.

Установили, что для фракции измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) 500–1000 мкм оптимальный диапазон прессования – 0,687–222,2 МПа, для фракции 180–250 мкм – 0,700–158,7 МПа, для фракции 50–100 мкм – 0,703–147,1 МПа. Выявили уменьшение верхнего давления прессования с уменьшением размера фракций сырья.

Внешний вид полученных брикетов сырья корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) разных фракций, полученных при различном давлении прессования, представлен на рисунках 4–6.

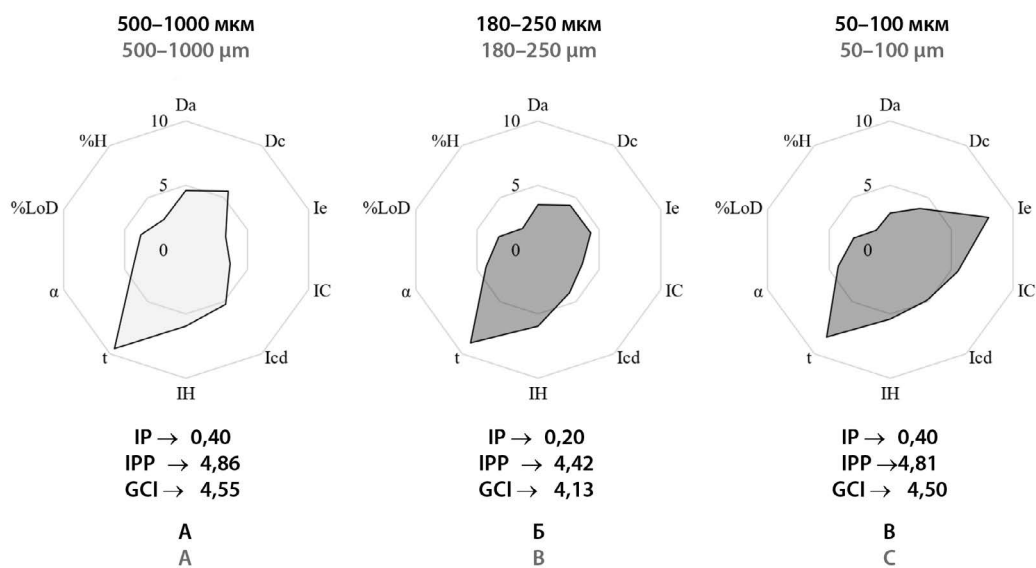


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 1. SeDeM-диаграммы для различных фракций измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (10 показателей, фактор надежности $f = 0,935$)

Figure 1. SeDeM diagrams for different fractions of ground *Cichorium intybus* L. roots (10 indicators, reliability factor $f = 0.935$)

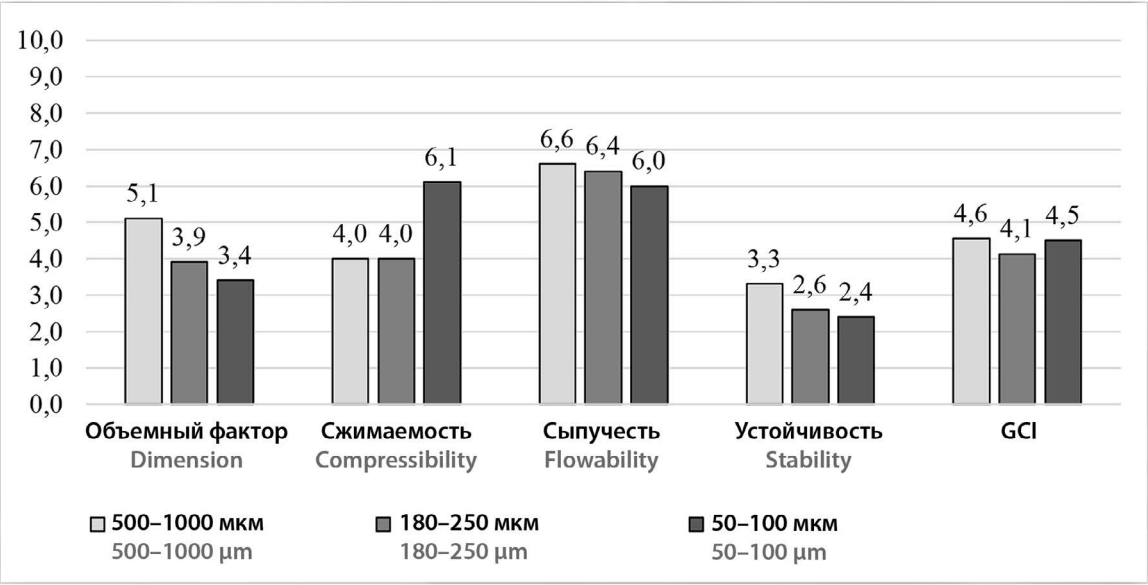


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 2. Факторы SeDeM-диаграмм для различных измельченных фракций корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.)

Figure 2. SeDeM factors for various fractions of ground *Cichorium intybus* L. roots

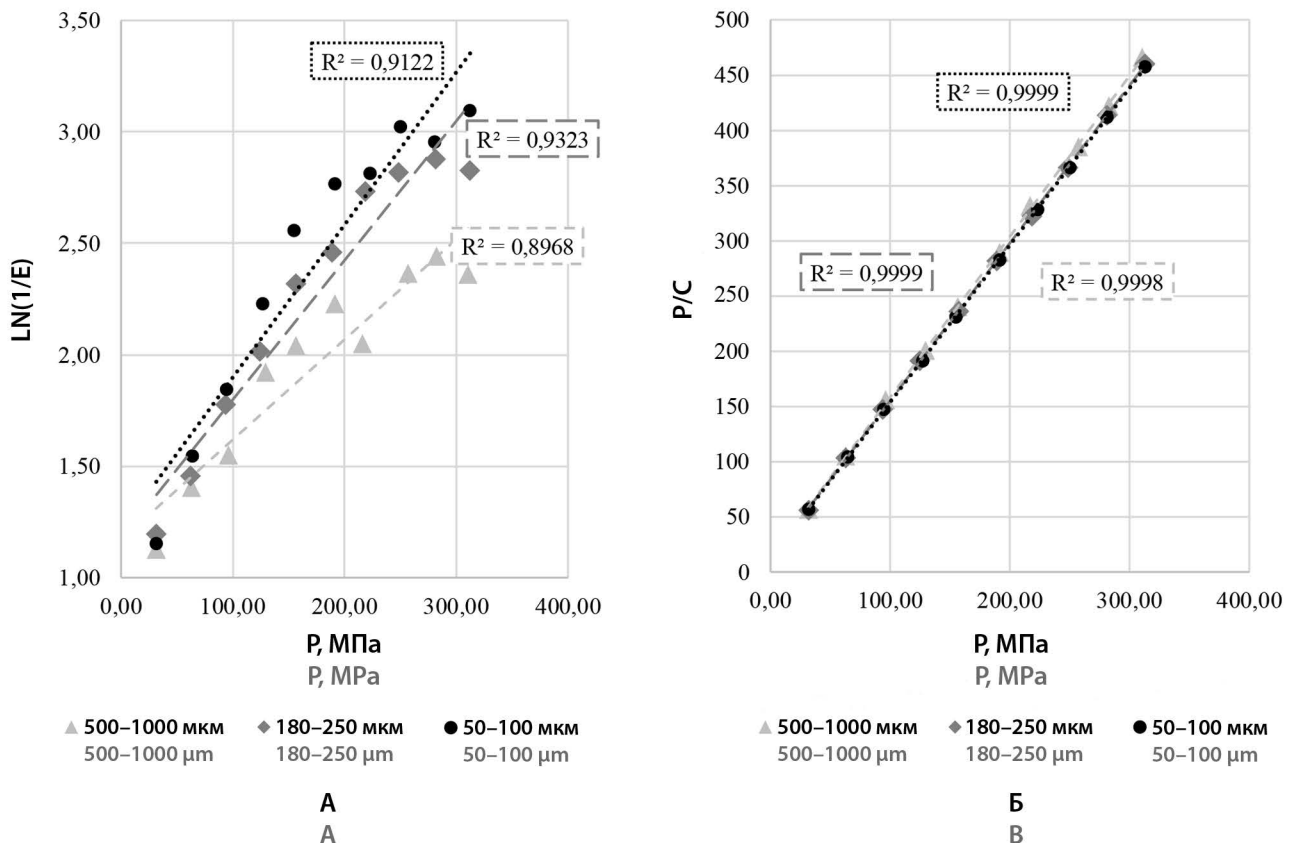


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 3. Кривые прессования для различных фракций измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.):

А – кривые Хеккеля; Б – кривые Кавакита

Figure 3. Pressing curves for different fractions of ground *Cichorium intybus* L. roots:

A – Heckel curves; B – Kawakita curves

Все брикеты всех фракций выдержали испытание на механическую прочность без видимых разрушений формы.

Поскольку получаемые брикеты корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) предполагают использование конечным потребителем для приготовления водного извлечения, изучили время распадаемости (полная потеря формы) при добавлении воды очищенной свежeproкипяченной 100 °C (рисунок 7). Результаты более 900 с (15 мин) были удалены с графика, поскольку такая длительная распадаемость является нецелесообразной.

Установили зависимость, что с повышением давления прессования повышается время распадаемости брикетов из измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.). В связи с этим целесообразно использовать минимальное давление прессования для обеспечения возможности применения конечными потребителями получаемых брикетов для приготовления настоев и отваров.

Заклучение

Установили, что наилучшими значениями индекса хорошего прессования ($GCI = 4,55/10,00$) по методу SeDeM обладает самая крупная из исследуемых фракций измельченного сырья корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (500–1000 мкм).

Установили с использованием уравнений Хеккеля и Кавакиты, что оптимальный диапазон прессования для фракции измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) 500–1000 мкм находится в интервале 0,687–222,2 МПа.

Оптимальным давлением прессования для получения быстрораспадающихся брикетов измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (менее 60 с) является 30 МПа.

Технологические свойства измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) указывают на то, что их можно вводить в состав растительных сборов для брикетирования для повышения сыпучести.

Таблица 3. Значения коэффициентов уравнений Хеккеля и Кавакиты для различных фракций измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.)

Table 3. Values of the coefficients of the Heckel and Kawakita equations for various fractions of ground *Cichorium intybus* L. roots

Образец Sample	Уравнение Equation	A	k(b)	1/b
Уравнение Хеккеля Heckel equation				
500–1000 мкм 500–1000 µm	$y = 0,0045x + 1,1694$	1,1694	0,0045	222,2
180–250 мкм 180–250 µm	$y = 0,0063x + 1,1737$	1,1737	0,0063	158,7
50–100 мкм 50–100 µm	$y = 0,0068x + 1,214$	1,214	0,0068	147,1
Уравнение Кавакиты Kawakita equation				
500–1000 мкм 500–1000 µm	$y = 1,4549x + 12,843$	12,843	1,4549	0,687
180–250 мкм 180–250 µm	$y = 1,4276x + 12,384$	12,384	1,4276	0,700
50–100 мкм 50–100 µm	$y = 1,4217x + 11,721$	11,721	1,4217	0,703

Таблица предоставлена авторами
The table was provided by the authors

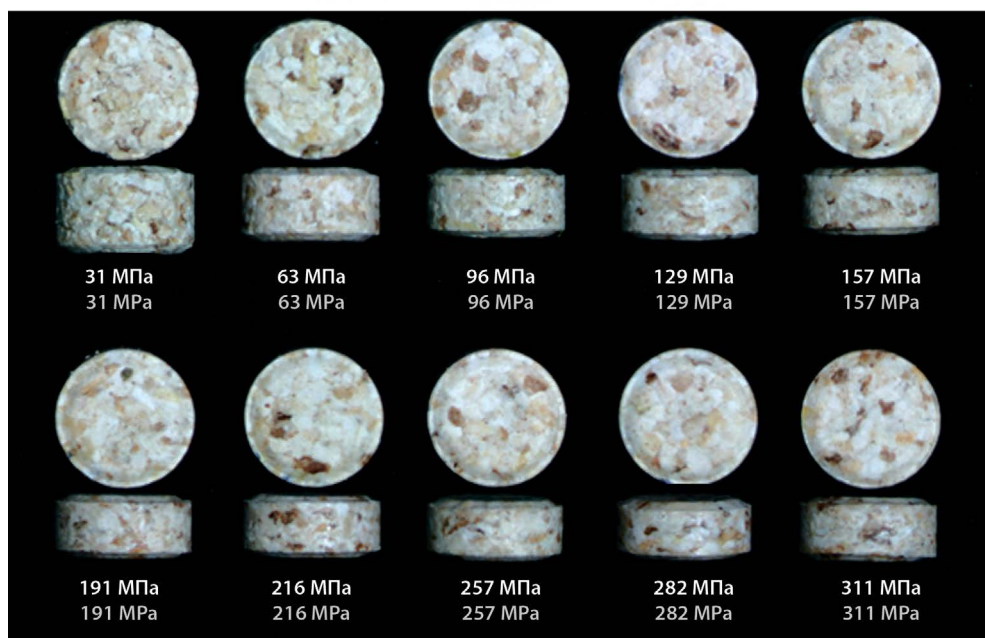


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 4. Брикетты измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (фракция 500–1000 мкм), полученные при различном давлении прессования

Figure 4. Briquettes of ground *Cichorium intybus* L. roots (fraction 500–1000 µm) obtained at different compression pressures

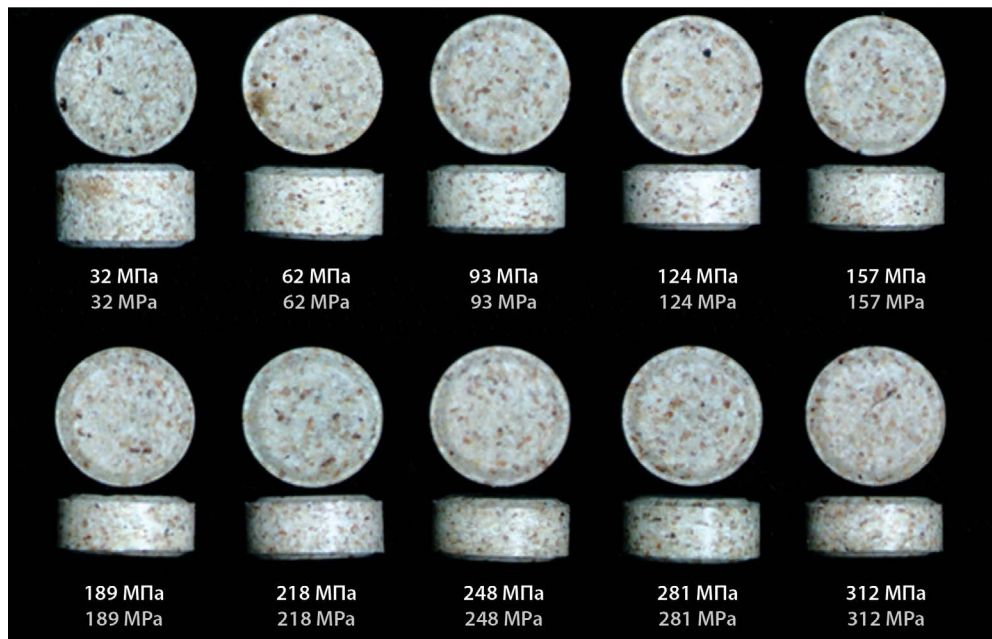


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 5. Брикеты измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (фракция 180–250 мкм), полученные при различном давлении прессования

Figure 5. Briquettes of ground *Cichorium intybus* L. roots (fraction 180–250 μm) obtained at different compression pressures



Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 6. Брикеты измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) (фракция 50–100 мкм), полученные при различном давлении прессования

Figure 6. Briquettes of ground *Cichorium intybus* L. roots (fraction 50–100 μm) obtained at different compression pressures

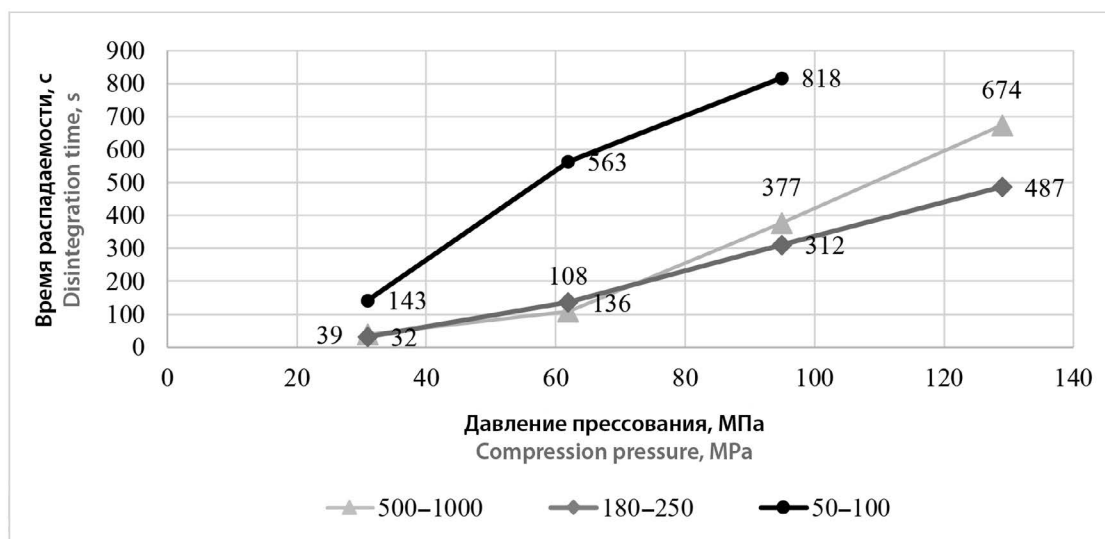


Рисунок предоставлен авторами
The figure was provided by the authors

Рисунок 7. Время распадаемости брикетов измельченных корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus* L.) в воде очищенной свежепрокипяченной (100 °C)

Figure 7. Disintegration time of ground *Cichorium intybus* L. root briquettes in freshly boiled purified water (100 °C)

Литература

- Блынская Е. В., Юдина Д. В., Алексеев К. В., Алексеев В. К., Минаев С. В. Сравнительное изучение прессуемости таблеточных смесей ГМЛ-1, полученных технологией влажного гранулирования. *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2019;3:49–54.
- Корнилов К. Н., Роева Н. Н. Определение эмиссии частиц из микропластика при заваривании чайных пакетиков. *Health, Food & Biotechnology*. 2021;3(3):25–32. <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i3.s113>
- Бобкова Н. В., Ермакова В. А. Идентификация растительного сырья как фармацевтической субстанции в комплексных лекарственных средствах традиционной китайской медицины. В сб.: Научно-практическая конференция, посвященная 70-летию Ботанического сада Первого Московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова «Лекарственные растения Ботанического сада». 21–22 сентября 2016. Москва. Доступно по: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26745166_89919717.pdf Ссылка активна на 28.04.2026.
- Hernandez L. M., Xu E. G., Larsson H. C. E., Tahara R., Maisuria V. B., Tufenkji N. Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(21):12300–12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
- Winiarska E., Jutel M., Zemelka-Wiacek M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research*. 2024;251:118535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>
- Yaroslavov A. A., Efimova A. A., Grokhovskaya T. E., Badikova A. G., Spiridonov V. V., Pozdyshev D. V., Lyulin S. V., Kenny J. M. Evolution of Microplastics Released from Tea Bags into Water. *Polymers*. 2025;17(19):2700. <https://doi.org/10.3390/polym17192700>
- Thompson R. C., Olsen Y., Mitchell R. P., Davis A., Rowland S. J., John A. W. G., McGonigle D., Russell A. E. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*. 2004;304(5672):838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Kumar V., Verma P. Unveiling the hidden threat of microplastic in paper cups and tea bags: a critical review of their exacerbation and alarming concern in India. *Discover Applied Sciences*. 2025;7(6):527. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07121-y>
- Pérez P., Suñé-Negre J. M., Miñarro M., Roig M., Fuster R., García-Montoya E., Hernández C., Ruhí R., Ticó J. R. A new expert systems (SeDeM diagram) for control batch powder formulation and preformulation drug products. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2006;64(3):351–359. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2006.06.008>
- Rashid I., Haddadin R. R., Alkafaween A. A., Alkaraki R. N., Alkasasbeh R. M. Understanding the implication of Kawakita model parameters using in-die force-displacement curve analysis for compacted and non-compacted API powders. *AAPS Open*. 2022;8(1):6 <https://doi.org/10.1186/s41120-022-00053-6>

References

- Blynskaya E. V., Yudina D. V., Alekseyev K. V., Alekseyev V. K., Minaev S. V. Comparative compressibility study of tablet GML-1 mixtures obtained by wet granulation technology. *Volgograd scientific and medical journal*. 2019;3:49–54. (In Russ.)

2. Kornilov K.N., Roeva N.N. Determination of the Microplastic Particle Release by Tea Bags During Brewing. *Health, Food & Biotechnology*. 2021;3(3):25–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i3.s113>
3. Bobkova N.V., Ermakova V.A. Identification of plant raw materials as pharmaceutical substances in complex Traditional Chinese Medicine preparations. In: Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Botanical Garden of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University: «Medicinal Plants of the Botanical Garden». 21–22 September 2016. Moscow. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26745166_89919717.pdf Accessed: 28.04.2026. (In Russ.)
4. Hernandez L.M., Xu E.G., Larsson H.C.E., Tahara R., Maisuria V.B., Tufenkji N. Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(21):12300–12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
5. Winiarska E., Jutel M., Zemelka-Wiacek M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research*. 2024;251:118535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>
6. Yaroslavov A.A., Efimova A.A., Grokhovskaya T.E., Badikova A.G., Spiridonov V.V., Pozdyshev D.V., Lyulin S.V., Kenny J.M. Evolution of Microplastics Released from Tea Bags into Water. *Polymers*. 2025;17(19):2700. <https://doi.org/10.3390/polym17192700>
7. Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W.G., McGonigle D., Russell A.E. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*. 2004;304(5672):838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
8. Kumar V., Verma P. Unveiling the hidden threat of microplastic in paper cups and tea bags: a critical review of their exacerbation and alarming concern in India. *Discover Applied Sciences*. 2025;7(6):527. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07121-y>
9. Pérez P., Suñé-Negre J.M., Miñarro M., Roig M., Fuster R., García-Montoya E., Hernández C., Ruhí R., Ticó J.R. A new expert systems (SeDeM diagram) for control batch powder formulation and preformulation drug products. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2006;64(3):351–359. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2006.06.008>
10. Rashid I., Haddadin R.R., Alkafaween A.A., Alkaraki R.N., Alkasasbeh R.M. Understanding the implication of Kawakita model parameters using in-die force-displacement curve analysis for compacted and non-compacted API powders. *AAPS Open*. 2022;8(1):6 <https://doi.org/10.1186/s41120-022-00053-6>