

УДК 621.365.46 : 615.322

# Процесс стерилизации лекарственного растительного сырья *Origanum vulgare* L. при помощи управляемого инфракрасного излучения

И. А. Худонов<sup>1</sup>, Е. Г. Худогова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup> Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Россия

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Худонов Игорь Анатольевич  
E-mail: hudonogovi@mail.ru

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Худонов, И.А., & Худогова, Е.Г. (2023). Процесс стерилизации лекарственного растительного сырья *Origanum vulgare* L. при помощи управляемого инфракрасного излучения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 33-43. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.346>

**ПОСТУПИЛА:** 24.01.2023

**ПРИНЯТА:** 14.07.2023

**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.07.2023

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Большое значение в фармацевтическом производстве и в сельском хозяйстве имеет чистота растительного сырья. Содержание микробной чистоты сырья необходимо довести до уровня, установленного ГФ и научно-технической документацией. Обработка сырья растительного происхождения с использованием инфракрасного облучения (ИК-облучения) обладает рядом преимуществ: высокой тепловой эффективностью, быстрой скоростью обработки, эффективностью обеззараживания обсемененного материала.

**Цель:** определение оптимального режима ИК-облучения лекарственного сырья душицы обыкновенной до требуемых стандартов, удовлетворяющей микробиологической чистоте. Объект исследования — сырье душицы обыкновенной, загрязненное аэробными бактериями (более  $10^7$  — при норме не более  $10^7$ ), дрожжевыми и плесневыми грибами (более  $10^5$  — при норме не более  $10^4$ ), а также другими кишечными бактериями ( $10^4$  при норме  $10^2$ ).

**Материалы и методы:** Исследования оптимальных режимов термообработки обсемененного сырья душицы проводили на ИК-установке по 4 параметрам: времени обработки, интенсивности ИК-облучения, температуры обработки, толщины слоя растительного сырья. Образцы сырья были подвергнуты микробиологическим и фитохимическим анализам в «Центре сертификации контроля качества лекарственных средств комитета по фармацевтической деятельности и производству лекарств администрации Иркутской области и лаборатории Иркутского государственного центра Госсанэпиднадзора».

**Результаты:** При термообработке сырья душицы температура на поверхности сырья должна находиться в пределах 65–75° при экспозиции 15–45 секунд, интенсивности ИК-облучения 7,5 кВт/м<sup>2</sup>. Нагрев сырья до температуры 85° и выше вызывает значительное снижение содержания эфирных масел (на 76 % от исходного). Оптимальная температура нагрева — 65°, при которой содержание эфирных масел соответствует требованиям, предъявляемым к качеству сырья. При плотности мощности 2,5 и 5 кВт/м<sup>2</sup> стерилизация сырья не происходит.

**Выводы:** Предлагаемый энергосберегающий метод стерилизации позволяет снизить уровень микробной обсемененности сырья душицы обыкновенной до норм, установленных Государственной фармакопеей и санитарно-эпидемиологическим надзором и получить сырье повышенного качества с оптимальным составом эфирных масел (от 0,25 % в контроле до 0,13 % после обработки).

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стерилизация, растительное сырье, микробная чистота, душица

# The Process of Sterilization of Medicinal Plant Raw Materials *Origanum Vulgare* L. using Controlled Infrared Radiation

<sup>1</sup> Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup> Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Molodezhny settlement, Russia

## CORRESPONDENCE:

Igor A. Khudonogov

E-mail: hudonogovi@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Khudonogova, E.G., & Khudonogova, I.A. (2023) The process of sterilization of medicinal plant raw materials *Origanum vulgare* L. using controlled infrared radiation. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 33-43. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.346>

RECEIVED: 24.01.2023

ACCEPTED: 14.07.2023

PUBLISHED: 30.07.2023

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Igor A. Khudonogov<sup>1</sup>, Elena G. Khudonogova<sup>2</sup>

## ABSTRACT

**Background:** The purity of plant raw materials is of great importance in pharmaceutical production and in agriculture. The content of microbial purity of raw materials must be brought to the level established by the GF and scientific and technical documentation. Processing of raw materials of plant origin using infrared irradiation (IR irradiation) has a number of advantages: high thermal efficiency, fast processing speed, effective disinfection of the seeded material.

**Purpose:** The aim is to determine the optimal mode of IR irradiation of *Origanum vulgare* medicinal raw materials to the required standards, satisfying microbiological purity. The object of the study is *Origanum vulgare* raw materials contaminated with aerobic bacteria (more than  $10^7$  – at a rate of no more than  $10^7$ ), yeast and mold fungi (more than  $10^5$  – at a rate of no more than  $10^4$ ), as well as other intestinal bacteria ( $10^4$  at a rate of  $10^2$ ).

**Materials and Methods:** Studies of optimal modes of heat treatment of seeded *Origanum* raw materials were carried out on an IR installation according to 4 parameters: processing time, intensity of IR irradiation, processing temperature, layer thickness of vegetable raw materials. Samples of raw materials were subjected to microbiological and phytochemical analyses at the "Center for certification of quality control of medicines of the Committee for Pharmaceutical Activity and Production of Medicines of the Irkutsk Region Administration and the laboratory of the Irkutsk State Center of Gossanepidnadzor".

**Results:** During the heat treatment of *Origanum* raw materials, the temperature on the surface of the raw materials should be within 65–75° with an exposure of 15–45 seconds, the intensity of IR irradiation 7.5 kW/m<sup>2</sup>. Heating of raw materials to a temperature of 85° and above causes a significant decrease in the content of essential oils (by 76 % of the original). The optimal heating temperature is 65°, at which the content of essential oils meets the requirements for the quality of raw materials. At a power density of 2.5 and 5 kW/ m<sup>2</sup>, sterilization of raw materials does not occur.

**Conclusion:** The proposed energy-saving sterilization method allows reducing the level of microbial contamination of *Origanum vulgare* raw materials to the standards established by the State Pharmacopoeia and sanitary-epidemiological supervision and obtaining high-quality raw materials with an optimal composition of essential oils (from 0.25 % in control to 0.13 % after processing).

## KEYWORDS

sterilization, vegetable raw materials, microbial purity, oregano

## ВВЕДЕНИЕ

Большое значение в фармацевтическом производстве и в сельском хозяйстве имеет чистота растительного сырья. Растительное сырье, в результате хранения или неправильной сушки, довольно часто подвергается микробной загрязненности. В настоящее время нет возможности охватить все виды патогенных грибов и бактерии, поэтому микробиологический контроль ограничен лишь некоторыми видами, это в первую очередь это кишечные бактерии, стафилококк, синегнойная палочка. В нестерильных лекарственных средствах не допускается наличие бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*. В 1 г (мл) лекарственного средства при приеме внутрь допускается наличие не более 1000 бактерий и 100 дрожжевых и плесневых грибов (суммарно), а для местного употребления — не более 100 микроорганизмов, в том числе и грибов<sup>1</sup>.

Одним из ценных лекарственных растений является душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.) — многолетний корневищный гемикриптофит высотой 25–55 см с черешковыми яйцевидными или продолговатыми листьями и прямостоячими метельчатыми, в верхней части, стеблями. Соцветие — щитковидная метелка с зеленоватыми или фиолетовыми прицветниками. Плод — округлый орешек. В Прибайкалье и Забайкалье произрастает в освещенных лесах, по их опушкам и полянам, по суходольным и пойменным лугам, среди кустарников. С лекарственной целью заготавливают цветки и листья растения в период цветения (в июле–августе). В траве душицы содержатся эфирные масла (до 1,2 %, в состав которого входят тимол, карвакрол, геранилацетат, сесквитерпены и др.), дубильные вещества, аскорбиновая кислота и др.<sup>2</sup> В медицинской практике трава душицы — отхаркивающее, тонизирующее, потогонное, болеутоляющее и противовоспалительное средство, применяется при атонии кишечника, для возбуждения аппетита и улучшения пищеварения, при бронхитах и экземах. В народной медицине растение используется в качестве мочегонного и потогонного средства, от головной боли и гипертонии, входит в состав различных сборов (ветрогонного, грудно-

го, горлового и др.), применяется также наружно в виде ванн, компрессов при ревматических и др. болях (Телятьев, 1976).

В ГФ XI издания включены 4 метода стерилизации: термический (паровой и воздушный), химический (газовый и стерилизация растворами), стерилизация фильтрованием, радиационный. Надежность стерильности растительного сырья зависит от использования минимально обсемененного исходного сырья, стерильных вспомогательных материалов и асептических условий их приготовления, от выбора упаковки, обеспечивающей сохранение стерильности, от применения метода стерилизации, неразрушающего стерилизуемое лекарственное средство и упаковку, от контроля эффективности стерилизации и надлежащего хранения стерилизованных средств, а также от транспортировки, вскрытия и использования стерильных лекарственных препаратов и материалов без реконтаминации.

Технологии переработки растительного сырья и продуктов растительного происхождения, средств механизации и пр. изучались Счисленко, Бастроном (2018), Трубилиным, Винеvским (2019), Лисицыным с соавт. (2020), Рудиком с соавт. (2020). Применение инфракрасного излучения в технологии сушки растительного сырья и продуктов растительного происхождения было изложено в работах Волончука (2011); Волончук с соавт. (2017), Демидовой с соавт. (2014), Епифанова & Лукиной (2019), Завалий с соавт. (2020), Кирдяшкина с соавт. (2020), Сучкова & Алтухова (2017), Хазагаева с соавт. (2021), Худогова, Худоговой (2010), Hernandez-Vizuite & Michtchenko (2012). Влияние инфракрасного облучения семян зерновых культур изучалась Аксеновым с соавт. (2017), Благовым с соавт. (2021).

Результаты исследований авторов свидетельствуют о том, что ИК обработка оказывает существенное влияние, по сравнению с необлученным зерном, на декстринизацию крахмала изучаемых культур и может быть использована для усовершенствования технологии производства кормовой патоки, т.к. физические и химические изменения структуры зерновки способствуют более активному воздействию на нее ферментов (Аксенов с со-

<sup>1</sup> Государственная фармакопея СССР XI (1990), 2(11). Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье (с.187–199). М.: Медицина.

<sup>2</sup> Цицин, Н. В. (Ред.). (1962). *Атлас лекарственных растений СССР*. М.: Медгиз.

авт., 2017). Исследования Благова с соавт., показали, что использование инфракрасного излучения для обработки фуражного зерна также имеет широкие перспективы применения в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы (особенно молодняка), так как позволяет повысить его вкусовые достоинства, переваримость питательных веществ, провести полное обеззараживание от патогенной микрофлоры и уничтожение амбарных вредителей (Благов с соавт., 2021).

Переработка растительного сырья СВЧ-излучением изучалась Перфиловой (2019), УФ-излучением — Завалий с соавт. (2020), Илюхиной с соавт. (2020). В перерабатывающих отраслях промышленности, в последнее время, все более популярным становится обработка сырья растительного происхождения с использованием инфракрасного облучения (ИК-облучения). Данный способ обладает рядом преимуществ: высокой тепловой эффективностью, быстрой скоростью нагрева (Cai et al., 2011; Еремеева & Макарова, 2017; Трефилов с соавт., 2019), эффективностью обеззараживания обсемененного материала (Худоногова с соавт., 2012). Например, ИК-облучение обсемененного зерна пшеницы, загрязненное плесневыми и дрожжевыми грибами, длится всего 1,5–2,0 минуты (Волончук с соавт., 2017). Результаты работ ряда авторов показали, что обсемененное растительное сырье топинамбура, эстрагона, базилика и др. видов, после сушки ИК-излучением по всем показателям удовлетворяло требованиям СанПиН 2.3.2.560–96<sup>3</sup>. Стерилизация продуктов при ИК-облучении происходит вследствие изменения кинетики биохимических реакций под воздействием тепла и внешнего электромагнитного поля с длинами волн инфракрасного диапазона (Паньковский, 2003).

Цель данного исследования — определение оптимального режима ИК-облучения лекарственного сырья душицы обыкновенной до требуемых стандартов, удовлетворяющей микробиологической чистоте.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объект

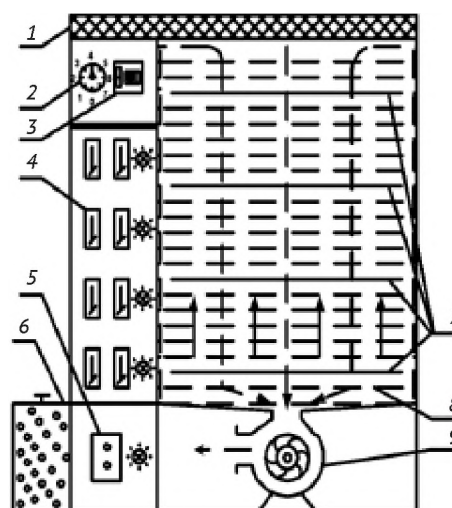
Сырье душицы обыкновенной, загрязненное аэробными бактериями (более  $10^7$  — при норме не более  $10^7$ ), дрожжевыми и плесневыми грибами (более  $10^5$  — при норме не более  $10^4$ ), а также другими кишечными бактериями ( $10^4$  при норме  $10^2$ ). Исследования оптимальных режимов термообработки лекарственного сырья душицы проводили по 4 параметрам: времени обработки, интенсивности ИК-облучения, температуры обработки, толщины слоя растительного сырья<sup>4</sup> (Khudonogova et al., 2020).

### Оборудование

Экспериментальные исследования по снижению микробной обсемененности сырья душицы были проведены на ИК-установке, состоящей из облучателя, сушильной камеры, центробежного

#### Рисунок 1

Схема промышленной ИК-установки



Примечание: 1 — отражатель; 2 — переключатель уровней мощности; 3 — реле времени программное; 4 — пульт управления ИК облучателями; 5 — пульт управления центробежным вентилятором; 6 — регулятор уровней мощности; 7 — ИК облучатели; 8 — кассета сетчатая с сырьем; 9 — вентилятор центробежный; — поток воздуха; — направление перемещения кассет с сырьем (рисунок автора)

<sup>3</sup> СанПиН 2.3.2.560–96. (1996). *Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов*. <https://docs.cntd.ru/document/9052436>

<sup>4</sup> Гинсбург, А. С. (1976). *Технология сушки пищевых продуктов: Учебное пособие для вузов по специальности пищевой промышленности*. М.: Пищевая промышленность.



вентилятора, пульта с пусковой и измерительной аппаратурой (Рисунок 1).

В качестве источников излучения применяли силовые излучатели, ТЭНы, ламповые излучатели типа (ЗС, ИКЗ, ИКЗК, КИ и КГ), керамические излучатели, а также излучатели, изготовленные в лабораторных условиях на основе нихрома и слюдопластовых электронагревателей. В камере термообработки ИК-установки (1 × 1 м) были смонтированы 4 ИК-излучателя (мощностью до 30 кВт; производительностью по удалению влаги до 30 кг/ч). В промежутке между двумя плоскими излучателями помещалось от 1 до 5 кассет с растительным сырьем, а в камере, соответственно — от 3 до 15 и кассет и более.

## Методы

Методика определения толщины слоя сырья в кассете и послойного перемещения кассеты с сырьем в зависимости от начальной влажности изложена в трудах В.Н. Карпова с позиции закона Бугера<sup>5</sup>. Набор аппаратуры управления позволяет регулировать уровнем мощности трехфазного ИК облучателя тремя методами: ступенчатым регулированием уровня мощности при помощи автоматических выключателей и семиступенчатого регулятора; плавным регулированием при помощи управляемых тиристоров; комбинациями ступенчатого и плавного методов.

Электроизмерительные приборы, а также электроизмерительный комплект К-505 использовали для проведения замеров напряжения тока, мощности и расхода электрической энергии. Измерение температуры нагрева растительного сырья душицы проводили хромель-копелевыми термопарами (диаметром 0,5 мм), соединенными с потенциометром ПП-01 (погрешность термопары при 23° = ±0,1%), учитывая дополнительную погрешность (±0,01% на градус показаний при отклонении от 23°). Измерение температуры нагрева излучателя проводили при помощи термопар, подключенных к по-

тенсиометру (ПП-63) в течение 1 минуты с шагом в 15 секунд, контроль осуществляли при помощи пирометра (ОППИР-09). Альбометром (с гальванометром ГСА) измеряли облученность лекарственного сырья (Худонов & Худогова, 2009).

Применительно к лекарственному сырью душицы исследовано влияние ИК-облучения на микрофлору и содержание биологически активных веществ в обрабатываемом материале<sup>6</sup>. Микробиологические и фитохимические анализы образцов растительного сырья душицы были выполнены в Центре сертификации контроля качества лекарственных средств комитета по фармацевтической деятельности и производству лекарств администрации Иркутской области и лаборатории Иркутского государственного центра Госсанэпиднадзора.

## Анализ данных

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли в программе «Excel 97» с учетом общепринятых методик<sup>7</sup>. В результате статистического анализа определили среднее значение для изучаемых показателей (температуры нагрева сырья, погрешности термопары, дополнительной погрешности, содержания эфирных масел в сырье). Статистическая обработка экспериментальных данных, микробиологические и фитохимические анализы растительных образцов позволили определить оптимальные параметры обработки материала для достижения эффекта стерилизации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс стерилизации, в первую очередь, характеризуется такими параметрами, как температура и время, именно эти параметры являются определяющими для гибели микроорганизмов. Управление ИК-облучателями с целью автоматизации и обеспечения режима облучения в эксперименте

<sup>5</sup> Карпов, В. Н., & Шур, И. З. (1996). *Термодинамика оптических элементов АПК: Учебное пособие*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет.

<sup>6</sup> Прохорова, М. И. (1982). *Методы биохимических исследований: Учебное пособие*. Л.: Изд-во ЛГУ.

<sup>7</sup> Плохинский, Н. А. (1970). *Биометрия: Учебное пособие*. М.: Изд-во МГУ.

Таблица 1

Влияние параметров ИК-облучения на микробную обсемененность и содержание экстрактивных веществ в лекарственном сырье душицы обыкновенной (при толщине слоя измельченной фракции 7 мм)

№ варианта	Параметры обработки			Показатель микробной загрязненности в повторностях			Содержание эфирных масел после обработки, %
	Экспозиция, секунд	Плотность мощности, кВт/м <sup>2</sup>	Температура нагрева, °С	1	2	3	
1	60	7,5	85 ± 1,80	—	—	—	0,06 ± 0,01
2	45	7,5	75 ± 1,60	—	—	—	0,08 ± 0,02
3	30	7,5	70 ± 0,44	—	—	—	0,10 ± 0,05
4	15	7,5	65 ± 2,30	—	—	—	0,13 ± 0,03
5	60	5	60 ± 1,00	—	+	—	0,16 ± 0,06
6	45	5	55 ± 0,15	+	+	—	0,18 ± 0,09
7	30	5	50 ± 0,90	—	+	+	0,18 ± 0,10
8	15	5	45 ± 1,06	+	+	+	0,20 ± 0,02
9	60	2,5	40 ± 1,50	+	+	+	0,21 ± 0,04
10	45	2,5	30 ± 2,00	+	+	+	0,23 ± 0,09
11	30	2,5	25 ± 0,66	+	+	+	0,24 ± 0,10
12	15	2,5	20 ± 0,53	+	+	+	0,25 ± 0,12
Контроль	0	0	0	+	+	+	0,25 ± 0,08

Примечание:

— эффект стерилизации достигнут,  
+ эффект стерилизации не достигнут.

осуществляли с помощью электронных и электро-механических устройств<sup>8</sup>. На базе электро-механического реле времени разработаны устройства, позволяющие обеспечить заданный режим прерывного облучения, а программным регулятором температуры «Термодат 14» обеспечивалось плавное управление мощностью трехфазного ИК-облучателя. Влияние интенсивности и времени ИК-облучения на величину микробной обсемененности, качество и количество экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье душицы обыкновенной приведено в Таблице 1.

ИК-метод стерилизации растительного сырья подавляет микроорганизмы путем термического воздействия. За счет постоянного обновления поверхности облучения наложение вибраций на слой материала способствует равномерности обработки растительного материала. Результаты микробиологических и фитохимических анализов

образцов растительного сырья душицы представлены в Таблице 2.

Показателями качества лекарственного сырья является не только микробиологическая чистота и содержание биологически активных веществ, но и внешние признаки, например, наличие органических и минеральных примесей, влажность сырья и др. Полученные результаты анализа, свидетельствуют о том, что сырье, обработанное ИК-излучением (вариант 4) отвечает необходимым требованиям и нормативным документам.

Результаты исследований показали, что при термообработке сырья душицы обыкновенной температура на поверхности сырья должна находиться в пределах 65–75° при экспозиции 15–45 секунд, интенсивности ИК-облучения 7,5 кВт/м<sup>2</sup>. Установлено, что нагрев сырья душицы до температуры 85° и выше вызывает значительно снижение содержания эфирных масел (на 76 % от исходного).

<sup>8</sup> Григорьева, В. А., & Зорин, В. М. (1982). Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник. М.: Энергоиздат.

**Таблица 2**

Результаты влияния ИК-облучения на качество лекарственного сырья душицы обыкновенной

Наименование показателей качества по Нормативному документу	Требования к качеству по Нормативному документу	Результаты анализа
Внешние признаки (измельченное сырье)	В соответствии с ГФ 11	Соответствует
Микроскопия	В соответствии с ГФ 11	Соответствует
Влажность	Не более 13 %	7,01 %
Почерневших и побуревших частей	Не более 7,0 %	0,52 %
Золы общей	Не более 10 %	6,19 %
Золы, не растворившейся в соляной кислоте 10 %	Не более 5 %	2,69 %
Кусочков стеблей и боковых веточек	Не более 40 %	35,2 %
Частиц, не проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 7 мм	Не более 10 %	Полное прохождение частиц
Частиц, не проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 0,5 мм	Не более 10 %	5,52 %
Органической примеси	Не более 1 %	Отсутствует
Минеральные примеси	Не более 1 %	Отсутствует
Эфирного масла	Не менее 0,08 %	0,13 %
Фасовка	±5 % (47,5–52,5 г)	49,8 %
Удельная активность Sr-90	Не более 100	1,0–12,0
Удельная активность Cs-137	Не более 400	5,4–8,0
Микробиологическая чистота:		
– аэробных бактерий	Не более 10 <sup>7</sup>	6×10 <sup>3</sup>
– дрожжевых и плесневых грибов	Не более 10 <sup>4</sup>	4×10 <sup>3</sup>
– <i>Escherihia coli</i>	Отсутствие	Отсутствует
– <i>Salmonella</i>	Отсутствие	Отсутствует
– <i>Staphylococcus aureus</i>	Отсутствие	Отсутствует
Других кишечных бактерий	Не более 10 <sup>2</sup>	Менее 10 <sup>2</sup>
Упаковка	В соответствии с ГФ 11	Соответствует
Маркировка	В соответствии с ГФ 11	Соответствует

Оптимальная температура нагрева сырья душицы обыкновенной — 65°, при этой температуре содержание эфирных масел снижается на допустимый уровень (48%) и составляет 0,13%, что соответствует требованиям, предъявляемым к качеству сырья. При плотности мощности 2,5 и 5 кВт/м<sup>2</sup> обеззараживания сырья душицы обыкновенной не происходит.

При сравнении полученных результатов с результатами работ по обеззараживанию ИК-излучением других видов лекарственных растений (чабреца, календулы, пустырника) можно сделать вывод о том, что обеззараживание сырья ИК-излучением существенно снижает уровень микробной загрязненности (Худонов & Худогова, 2009, 2012;

Khudonogova et al., 2020). Однако температуру нагрева, плотность мощности и экспозицию обработки сырья для каждого вида необходимо подбирать индивидуально, например, для стерилизации сырья пустырника и сохранения экстрактивных веществ оптимальной температурой является температура в пределах 60–80 °С при экспозиции 15–45 с и интенсивности облучения 7,5 кВт/м<sup>2</sup> (Худонов & Худогова, 2009); для сырья чабреца (тимьяна) оптимальной температурой является 55–78 °С при экспозиции 15–45 с и плотности мощности 5–7,6 кВт/м<sup>2</sup> (Худонов & Худогова, 2012); для сырья календулы лекарственной оптимальной температурой является 70–80 °С при экспозиции 30–60 с и плотности мощности 7,5 кВт/м<sup>2</sup> (Khudonogova et al., 2020).

Экспериментальные исследования показали, что ИК-метод обеззараживания лекарственного сырья оказывает термическое воздействие на микроорганизмы и подавляет их дальнейшее распространение, в большинстве случаев, при стерилизации сырья, интенсивность облучения находится в пределах  $7,5 \text{ кВт/м}^2$ , температура и время обработки сырья должны подбираться индивидуально в зависимости от степени зараженности и вида биологически активных веществ.

## ВЫВОДЫ

Поставленная цель исследования достигнута, определены оптимальные режимы ИК-облучения лекарственного сырья на примере душицы обыкновенной до требуемых стандартов, удовлетворяющей микробиологической чистоте. Исследования оптимальных режимов термообработки лекарственного сырья душицы проводили по 4 параметрам: времени обработки, интенсивности ИК-облучения, температуры обработки, толщины слоя растительного сырья<sup>9</sup>. Предлагаемый энергосберегающий метод стерилизации лекарственного сырья, проведенный на ИК-установке, позволяет снизить уровень микробной обсемененности лекарственного сырья душицы обыкновенной до норм, установленных Государственной фармакопеей и санитарно-эпидемиологическим надзором и получить сырье повышенного качества с оптимальным составом эфирных масел — от 0,25% в контроле до 0,13% после обработки, что отвечает требованиям, предъявляемым к качеству сырья (согласно нормативам содержание эфирных масел в душице должно быть не менее 0,08%), при этом оптимальными параметрами обработки является экспозиция 15 секунд,

интенсивность ИК-облучения —  $7,5 \text{ кВт/м}^2$  и температура нагрева —  $65^\circ$ .

В настоящее время, подобные исследования ограничены изучением основных параметров обеззараживания загрязненного сырья, которые применимы лишь для немногих видов лекарственных растений, например душицы обыкновенной, чабреца, календулы, пустырника. Изученный метод стерилизации можно использовать для обеззараживания других видов растительного сырья, продуктов растительного происхождения и кормового назначения. Однако для установления параметров обработки, необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований, касающихся конкретного вида сырья. В связи с чем, направлением дальнейших исследований является выявление оптимальных режимов обеззараживания ИК-излучением обсемененного сырья других видов ценных лекарственных растений, используемых в медицинской практике, кормовых и пищевых полезных растений.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Худоногов Игорь Анатольевич:** концептуализация; методология; администрирование данных; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация; руководство исследованием; администрирование проекта.

**Худоногова Елена Геннадьевна:** верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; ресурсы; создание рукописи и её редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА

Аксенов, В. В., Волонук, С. К., Науменко, И. В., Веремейчик, Л. Ж., & Резепин, А. И. (2017). Влияние инфракрасного облучения на декстринизацию крахмала семян зерновых культур. В *Пища. Экология. Качество: Труды XIV международной научно-практической конференции* (с. 26–28). Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет.

Благов, Д. А., Миронова, И. В., Туктаров, М. Ф., Майорова, Ж. С., Позолотина, В. А., & Тетерина, О. А. (2021). Влияние инфракрасного облучения на гигиенические характеристики и питательность зерновых кормов. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, (1), 140–144. <http://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-87-1-140-144>

<sup>9</sup> Гинсбург, А. С. (1976). *Технология сушки пищевых продуктов: Учебное пособие для вузов по специальности пищевой промышленности*. М.: Пищевая промышленность.



- Волончук, С. К. (2011). Теоретическое обоснование и практическое применение инфракрасного излучения в технологии сушки растительного сырья. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, (9–10), 116–123.
- Волончук, С. К., Аксенов, В. В., & Резепин, А. И. (2017). Исследование деструкции кукурузного крахмала инфракрасным облучением. *Современные тенденции развития науки и технологий*, (2), 64–67.
- Демидов, С. Ф., Кременевская, М. И., Вороненко, Б. А., Демидов, А. С., & Запрометов, А. А. (2014). Сушка листьев брусники инфракрасным излучением. *Научный журнал Национального исследовательского университета Института точной механики и оптики. Процессы и аппараты пищевых производств*, (2), 9–14.
- Епифанов, А. Д., & Лукина, Г. В. (2019). Обработка отходов кедрового промысла ИК-облучением. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (10), 168–174.
- Еремеева, Н. Б., & Макарова, Н. В. (2017). ИК облучение как способ активации процессов экстрагирования антиоксидантов из растительного сырья. В *Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции* (с. 12–15). Новосибирск: Центр развития научного сотрудничества.
- Завалий, А. А., Воложанинов, С. С., Лаго, Л. А., & Рыбалко, А. С. (2020). Эффективность устройств инфракрасной сушки сельскохозяйственного растительного сырья. В *Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ 2020: Сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Академика А. В. Лыкова* (с. 49–54). Симферополь: Российский государственный аграрный университет.
- Илюхина, Н. В., Колоколова, А. Ю., Тришканева, М. В., Крюкова, Е. В., Горячева, Е. Д., & Беркетова, Л. В. (2020). Исследование динамики ингибирования микрофлоры растительного сырья в результате обработки ультрафиолетовым излучением. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 117–126. <https://doi.org/10.36107/spfr.2021.194>
- Кирдяшкин, В. В., Кандроков, Р. Х., Андреева, А. А., & Щебелев, В. И. (2020). Получение высокодисперсной гречневой муки для детского питания с применением инфракрасной обработки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 43–54. <https://doi.org/10.36107/spfr.2020.357>
- Лисицын, А. Н., Марков, В. Н., Григорьева, В. Н., Тагиев, Ш. К., & Ефимов, А. В. (2020). Изменение природной локализации масла в семенах как показатель их качества. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 8–21. <http://doi.org/10.36107/spfr.2020.369>
- Паньковский, Г. А. (2003). Микробная и химическая безопасность получения ИК-сушкой растительных продуктов. *Пищевая и перерабатывающая промышленность*, (2), 457–459.
- Перфилова, О. В. (2019). Применение СВЧ-, ИК-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(1), 144–148. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-144-148>
- Рудик, Ф. Я., Моргунова, Н. Л., Красникова, Е. С., Фауст, Е. А., & Семилет, Н. А. (2020). Технология и средство механизации для обработки зерна. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 137–147. <https://doi.org/10.36107/spfr.2020.211>
- Сучков, Н. С., & Алтухов, И. В. (2017). Технология получения продовольственного сырья с использованием ИК-сушки. В *Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы региональной научно-практической конференции молодых учёных* (с. 180–185). Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского.
- Счисленко, Д. М., & Бастрон, А. В. (2018). Мобильная гелиосушительная установка для сушки плодов ягодных культур. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (6), 131–135.
- Телятьев, В. В. (1976) *Целебные клады Восточной Сибири*. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство.
- Трефилов, Р. А., Касаткина, Н. Ю., Бадретдинова, И. В., Сергеев, А. А., Корепанов, Ю. Г., Арсланов, Ф. Р., & Касаткин, В. В. (2019). Оценка режимов процесса предпосевной обработки семян инфракрасным облучением. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (7), 1–14. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-151-003>
- Трубилин, Е. И., & Винецкий, Е. И. (2019). Энергоемкость сушки растительного сырья: Проблемы и пути решения. *Технический оппонент*, (1), 48–53.
- Хаззагаев, О. С., Шелкунов, А. В., & Очиров, В. Д. (2021). Расчет параметров ИК-установки для сушки пищевого растительного сырья. В *Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Материалы всероссийской научно-практической конференции* (с. 191–198). Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского.
- Худонов, И. А., & Худогова, Е. Г. (2009). Инфракрасное излучение как метод обеззараживания лекарственного растительного сырья. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, (6), 80–84.
- Худонов, И. А., & Худогова, Е. Г. (2010). Методика и техника получения термо- и дериватографических характеристик лекарственных растений. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, (5), 97–100.
- Худогова, Е. Г., Худонов, И. А., & Худонов, А. М. (2012). Обеззараживание лекарственного растительного сырья чабреца методом инфракрасного излучения. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (7), 144–147.
- Cai, Y., Yu, Y., Duan, G., & Li, Y. (2011). Study on infrared-assisted extraction coupled with high performance liquid chromatography (HPLC) for determination of catechin, epicatechin and procyanidin B2 in grape seeds. *Food*

- Chemistry*, 127(4), 1872–1877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.026>
- Hernandez-Vizuite, M., & Michtchenko, A. (2012). Photobiostimulation effects produced by the infrared laser radiation =980 nm on the growth of the wheat seeds (*Triticum aestivum* L.). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 33, 409–416.
- ## REFERENCES
- Aksenov, V. V., Volonuk, S. K., Naumenko, I. V., Veremeichik, L. Zh., & Rezepin, A. I. (2017). Vliyanie infrakrasnogo oblucheniya na dekstrinizatsiyu krakhmala semyan zernovykh kul'tur [Effect of infrared irradiation on starch dextrinization of grain seeds]. In *Pishcha. Ekologiya. Kachestvo: Trudy XIV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The Food. Ecology. Quality: Proceedings of the 14th International scientific and practical conference] (pp. 26–28). Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Blagov, D. A., Mironova, I. V., Tuktarov, M. F., Maiorova, Zh. S., Pozolotina, V. A., & Teterina, O. A. (2021). Vliyanie infrakrasnogo oblucheniya na gigienicheskie kharakteristiki i pitatel'nost' zernovykh kormov [The effect of infrared irradiation on the hygienic characteristics and nutritional value of grain feed]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], (1), 140–144. <http://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-87-1-140-144>
- Государственная фармакопея СССР XI (1990), 2(11). Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье (с.187–199). М.: Медицина.
- Demidov, S. F., Kremenevskaya, M. I., Voronenko, B. A., Demidov, A. S., & Zaprometov, A. A. (2014). Sushka list'ev brusniki infrakrasnym izlucheniem [Drying of lingonberry leaves by infrared radiation]. *Nauchnyi zhurnal Natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta Instituta tochnoi mekhaniki i optiki. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Scientific Journal of the National Research University Institute of Precision Mechanics and Optics. Processes and Devices of Food Production], (2), 9–14.
- Epifanov, A. D., & Lukina, G. V. (2019). Obrabotka otkhodov kedrovogo promysla IK-oblucheniem [Processing of cedar industry waste by IR irradiation]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (10), 168–174.
- Eremeeva, N. B., & Makarova, N. V. (2017). IK obluchenie kak sposob aktivatsii protsessov ekstragirovaniya antioksidantov iz rastitel'nogo syr'ya [IR irradiation as a way to activate the processes of extracting antioxidants from plant raw materials]. In *Sel'skokhozyaistvennye nauki i agropromyshlennyy kompleks na rubezhe vekov: Sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Agricultural sciences and agro-industrial complex at the turn of the century: The Collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference] (pp. 12–15). Novosibirsk: Tsentr razvitiya nauchnogo sotrudnichestva.
- Khudonogova, Ye. G., Polovinkina, S. V., Sizykh, S. V., Tungrikova, V. V., Khudonogov, I. A., Rachenko, M. A., Rachenko, A. M., & Mikhlyayeva, A. A. (2020). The sanitation of herbal substances using infrared radiation as exemplified by *Calendula officinalis* L. In *Health Sciences Research: Proceedings of the International Conference* (pp. 207–211). Tomsk: Tomsk State University. <https://doi.org/10.2991/ahsr.k.201001.042>
- Ilyukhina, N. V., Kolokolova, A. Yu., Trishkaneva, M. V., Kryukova, E. V., Goryacheva, E. D., & Berketova, L. V. (2020). Issledovanie dinamiki ingibirovaniya mikroflory rastitel'nogo syr'ya v rezul'tate obrabotki ul'trafioletovym izlucheniem [Investigation of the dynamics of inhibition of the microflora of plant raw materials as a result of treatment with ultraviolet radiation]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (1), 117–126. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.194>
- Khazagaev, O. S., Shelkunov, A. V., & Ochirov, V. D. (2021). Raschet parametrov IK-ustanovki dlya sushki pishchevogo rastitel'nogo syr'ya [Calculation of the parameters of an IR installation for drying food plant raw materials]. In *Nauchnye issledovaniya studentov v reshenii aktual'nykh problem APK: Materialy vs Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific research of students in solving urgent problems of the agro-industrial complex: Materials of the All-Russian scientific and practical conference] (pp. 191–198). Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni A. A. Ezhevskogo.
- Khudonogov, I. A., & Khudonogova, E. G. (2009). Infrakrasnoe izluchenie kak metod obezzarazhivaniya lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya [Infrared radiation as a method of disinfection of medicinal plant raw materials]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], (6), 80–84.
- Khudonogov, I. A., & Khudonogova, E. G. (2010). Metodika i tekhnika polucheniya termo- i derivatograficheskikh kharakteristik lekarstvennykh rastenii [Methods and techniques for obtaining thermo- and derivatographic characteristics of medicinal plants]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], (5), 97–100.
- Khudonogova, E. G., Khudonogov, I. A., & Khudonogov, A. M. (2012). Obezzarazhivanie lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya chabretsa metodom infrakrasnogo izlucheniya [Disinfection of medicinal plant raw materials of thyme by infrared radiation]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (7), 144–147.
- Kirdyashkin, V. V., Kandrov, R. Kh., Andreeva, A. A., & Shchebelev, V. I. (2020). Poluchenie vysokodispersnoi grechnevoi muki dlya detskogo pitaniya s primeneniem infrakrasnoi obrabotki [Obtaining highly dispersed buckwheat flour for baby food using infrared processing]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing

- of Farm Products], (4), 43–54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.357>
- Lisitsyn, A. N., Markov, V. N., Grigor'eva, V. N., Tagiev, Sh. K., & Efimov, A. V. (2020). Izmenenie prirodnoi lokalizatsii masla v semenakh kak pokazatel' ikh kachestva [Changes in the natural localization of oil in seeds as an indicator of their quality]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 8–21. <http://doi.org/10.36107/spfp.2020.369>
- Pan'kovskii, G. A. (2003). Mikrobnaya i khimicheskaya bezopasnost' polucheniya IK-sushkoi rastitel'nykh produktov [Microbial and chemical safety of obtaining plant products by IR drying]. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost'* [Food and Processing Industry], (2), 457–459.
- Perfilova, O. V. (2019). Primenenie SVCh-, IK-nagrev v tekhnologii polucheniya morkovnogo poroshka iz vyzhimok [The use of microwave and IR heating in the technology of obtaining carrot powder from pomace]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 81(1), 144–148. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-144-148>
- Rudik, F. Ya., Morgunova, N. L., Krasnikova, E. S., Faust, E. A., & Semilet, N. A. (2020). Tekhnologiya i sredstvo mekhanizatsii dlya obrabotki zerna [Technology and means of mechanization for grain processing]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (1), 137–147. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.211>
- Schislenko, D. M., & Bastron, A. V. (2018). Mobil'naya geliosushil'naya ustanova dlya sushki plodov yagodnykh kul'tur [Mobile solar drying plant for drying fruit and berry crops]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (6), 131–135.
- Suchkov, N. S., & Altukhov, I. V. (2017). Tekhnologiya polucheniya prodovol'stvennogo syr'ya s ispol'zovaniem IK-sushki [Technology for obtaining food raw materials using IR drying]. In *Nauchnye issledovaniya i razrabotki k vnedreniyu v APK: Materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh* [Research and development for implementation in the agro-industrial complex: Materials of the regional scientific and practical conference of young scientists] (pp. 180–185). Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni A. A. Ezhevskogo.
- Telyat'ev, V. V. (1976) *Tselebnye klady Vostochnoi Sibiri* [Healing Treasures of Eastern Siberia]. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo.
- Trefilov, R. A., Kasatkina, N. Yu., Badretdinova, I. V., Sergeev, A. A., Korepanov, Yu. G., Arslanov, F. R., & Kasatkin, V. V. (2019). Otsenka rezhimov protsessa predposevnoi obrabotki semyan infrakrasnym oblucheniem [Evaluation of the modes of the process of pre-sowing seed treatment by infrared irradiation]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University], (7), 1–14. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-151-003>
- Trubilin, E. I., & Vinevskii, E. I. (2019). Energoemkost' sushki rastitel'nogo syr'ya: Problemy i puti resheniya [The energy intensity of drying vegetable raw materials: Problems and solutions]. *Tekhnicheskii opponent* [Technical Opponent], (1), 48–53.
- Volonchuk, S. K. (2011). Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskoe primeneniye infrakrasnogo izlucheniya v tekhnologii sushki rastitel'nogo syr'ya [Theoretical justification and practical application of infrared radiation in the technology of drying vegetable raw materials]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], (9–10), 116–123.
- Volonchuk, S. K., Aksenov, V. V., & Rezepin, A. I. (2017). Issledovanie destruktivnoi kukuruznogo krakhmala infrakrasnym oblucheniem [Investigation of the destruction of corn starch by infrared irradiation]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii* [Modern Trends in the Development of Science and Technology], (2), 64–67.
- Zavaliy, A. A., Volozhaninov, S. S., Lago, L. A., & Rybalko, A. S. (2020). Effektivnost' ustroystv infrakrasnoi sushki sel'skokhozyaistvennogo rastitel'nogo syr'ya [Efficiency of the device of infrared drying of agricultural plant raw materials]. In *Sovremennye energosberegayushchie teplovye tekhnologii (sushka i teplovye protsessy) SETT 2020: Sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 110-letiyu so dnya rozhdeniya Akademika A. V. Lykova* [Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal processes) SET 2020: Collection of scientific papers of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician A.V. Lykovo] (pp. 49–54). Simferopol': Rossiiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Cai, Y., Yu, Y., Duan, G., & Li, Y. (2011). Study on infrared-assisted extraction coupled with high performance liquid chromatography (HPLC) for determination of catechin, epicatechin and procyanidin B2 in grape seeds. *Food Chemistry*, 127(4), 1872–1877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.026>
- Hernandez-Vizute, M., & Michtchenko, A. (2012). Photobiostimulation effects produced by the infrared laser radiation =980 nm on the growth of the wheat seeds (*Triticum aestivum* L.). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 33, 409–416.
- Khudonogova, Ye. G., Polovinkina, S. V., Sizykh, S. V., Tungrikova, V. V., Khudonogov, I. A., Rachenko, M. A., Rachenko, A. M., & Mikhlyayeva, A. A. (2020). The sanitation of herbal substances using infrared radiation as exemplified by *Calendula officinalis* L. In *Health Sciences Research: Proceedings of the International Conference* (pp. 207–211). Tomsk: Tomsk State University. <https://doi.org/10.2991/ahsr.k.201001.042>