

**ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ
ВЕСТНИК**

**FAR EASTERN AGRICULTURAL
JOURNAL**

Том 19
Номер 3
2025

- *Общее земледелие и растениеводство*
- *Селекция, семеноводство и биотехнология растений*
- *Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений*
- *Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология*
- *Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства*
- *Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса*
- *Пищевые системы*

<p>Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Дальневосточный государственный аграрный университет ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК Научно-практический журнал Издается с 2007 года. Выходит один раз в три месяца</p>	<p>Том 19. № 3 Июль – Сентябрь 2025 г.</p>
<p>Тихончук П. В., председатель редакционного совета, главный редактор, д-р с.-х. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск Селихова О. А., заместитель главного редактора, канд. с.-х. наук, доцент, проректор по научной работе ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск Овчинникова О. Ф., ответственный секретарь, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск Редакционный совет: Асеева Т. А., д-р с.-х. наук, чл.-корр. РАН, директор ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН – Дальневосточный НИИСХ, г. Хабаровск; Белко А. А., канд. вет. наук, доцент, проректор по научной работе УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», Республика Беларусь; Владимиров Л. Н., д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН, Заслуженный деятель науки РФ и Республики Саха (Якутия), Президент Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск; Друзьянова В. П., д-р техн. наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, г. Якутск; Емельяннов А. Н., канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., директор ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск; Клыков А. Г., д-р биол. наук, профессор, академик РАН, ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск; Комин А. Э., канд. с.-х. наук, доцент, ректор ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ, г. Уссурийск; Ли Хунпэн, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр., Хэйлунцзянская академия сельскохозяйственных наук, Китайская Народная Республика; Остякова М. Е., д-р биол. наук, доцент, директор ФГБНУ ДальЗНИВИ, г. Благовещенск; Синеговская В. Т., д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН – Дальневосточный НИИСХ, г. Хабаровск; Тихонов С. Л., д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург; Хамагаева И. С., д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ; Хан Тианфу, д-р наук (PhD), профессор, иностранный член РАН, Китайская академия сельскохозяйственных наук, Институт растениеводства, Китайская Народная Республика; Чабаев М. Г., д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область</p> <p>Редакционная коллегия:</p> <p>Громов И. Н., д-р вет. наук, профессор, зав. кафедрой, УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», Республика Беларусь; Захарова Е. Б., д-р с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск; Ключникова Н. Ф., д-р с.-х. наук, заместитель директора по научной работе, ФГБУН ХФИЦ ДВО РАН – Дальневосточный НИИСХ, г. Хабаровск; Кухаренко Н. С., д-р вет. наук, профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск; Миллер Т. В., канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск; Овчинников А. А., д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск; Решетник Е. И., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск; Темираев Р. Б. – д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой, ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет, г. Владикавказ; Триущ Н. В., д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск; Туаева Е. В., д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область; Шарвардзе Р. Л., д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск; Шишлов С. А., д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ, г. Уссурийск; Щитов С. В., д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск</p>	<p>Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ)</p> <p>Адрес учредителя и издателя – 675005, Амурская обл., г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86</p> <p>Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) Запись о регистрации ПИ № ФС 77-78057 27.03.2020</p> <p>Подписной индекс в Объединенном каталоге «ПРЕССА РОССИИ» 94054 (полугодовая); Онлайн подписка: https://www.pressa-f.ru/cat/1_edition/i94054/</p> <p>Журнал представлен в системе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)</p> <p>Распоряжением Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве образования и науки Российской Федерации от 1 декабря 2015 года журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (письмо ВАК №13-6518 от 01.12.2015 г.) (в Перечне ВАК под № 1113 по состоянию на 01.07.2025)</p> <p>Адрес редакции: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, д. 86, уч. корп. 1, каб. 301 Тел. (4162) 995147 Тел./факс (4162) 995127 www.vestnik.dalgau.ru e-mail: DVagrovestnik@dalga.ru</p>

Формат 60×90/8. Уч.-изд. л. 6.87. Тираж 600 экз. Заказ 163. Подписано к печати 22.09.2025. Дата выхода в свет 30.09.2025. Цена свободная.
Дальневосточный государственный аграрный университет: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, д. 86.
Адрес типографии: 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, д. 86, уч. корп. 1, ауд. 117.

<p>Ministry of Agriculture of the Russian Federation Far Eastern State Agrarian University</p> <p>FAR EASTERN AGRICULTURAL JOURNAL</p> <p>Scientific and Practical Journal Issued since 2007. Issued quarterly</p>	<p>Vol. 19. No. 3 July – September 2025</p>
<p>P. V. Tikhonchuk, Chairman of Drafting Committee, Editor-in-Chief, Dr. Agr. Sci., Professor, Rector of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk</p> <p>O. A. Selikhova, Deputy Editor-in-Chief, Cand. Agr. Sci., Associate Professor, Vice-rector for Scientific Work of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk</p> <p>O. F. Ovchinnikova, Executive Secretary, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk</p> <p>Editorial Council:</p> <p>T. A. Aseeva, Dr. Agr. Sci., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk;</p> <p>A. A. Belko, Cand. Veterinar. Sci., Associate Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Educational Establishment "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine of the Order of "The Badge of Honor", Republic of Belarus;</p> <p>L. N. Vladimirov, Dr. Biol. Sci., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russia and Sakha Republic (Yakutia), President of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk;</p> <p>V. P. Druzyanova, Dr. Tech. Sci., Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk;</p> <p>A. N. Emelyanov, Cand. Agr. Sci., Senior Researcher, Director of the Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A. K. Chaika, Ussuriysk;</p> <p>A. G. Klykov, Dr. Biol. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A. K. Chaika, Ussuriysk;</p> <p>A. E. Komin, Cand. Agr. Sci., Assistant Professor, Rector of the Primorsky State Agrarian and Technological University, Ussuriysk;</p> <p>Li Hongpeng, Dr. Agr. Sci., Senior Researcher, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, China;</p> <p>M. E. Ostyakova, Dr. Biol. Sci., Associate Professor, Director of the Far Eastern Areal Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk;</p> <p>V.T. Sinegovskaya, Dr. Agr. Sci., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russia, Chief Researcher of the Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk;</p> <p>S. L. Tikhonov, Dr. Tech. Sci., Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg;</p> <p>I. S. Khamagaeva, Dr. Tech. Sci., Professor, East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude;</p> <p>Tianfu Han, PhD, Professor, Foreign member of the Russian Academy of Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Institute of Crop Science, China;</p> <p>M. G. Chabaev – Dr. Agr. Sci., Professor, Chief Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region</p> <p>Editorial Board:</p> <p>I. N. Gromov, Dr. Veterinar. Sci., Professor, Head of the Department, Educational Establishment "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine of the Order of "The Badge of Honor", Republic of Belarus;</p> <p>E. B. Zakharova, Dr. Agr. Sci., Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk;</p> <p>N. F. Klyuchnikova, Dr. Agr. Sci., Deputy Director of Research of the Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk;</p> <p>N. S. Kukharenko, Dr. Veterinar. Sci., Professor, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk;</p> <p>T. V. Miller, Cand. Biol. Sci., Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk;</p> <p>A. A. Ovchinnikov, Dr. Agr. Sci., Professor, Head of the Department, South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk;</p> <p>E. I. Reshetnik, Dr. Tech. Sci., Professor, Head of the Department, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk;</p> <p>R. B. Temiraev, Dr. Agr. Sci., Professor, Head of the Department, Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz;</p> <p>N. V. Trush, Dr. Biol Sci., Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk;</p> <p>E. V. Tuaeva, Dr. Agr. Sci., Leading Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region;</p> <p>R. L. Sharvadze, Dr. Agr. Sci., Professor, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk;</p> <p>S. A. Shishlov, Dr. Tech. Sci., Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, Ussuriysk;</p> <p>S. V. Shchitov, Dr. Tech. Sci., Professor, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk</p>	

Format 60×90/8. Edition 600 copies. Order 163. Signing date 22.09.2025. Publication date 30.09.2025. Free price.
Far Eastern State Agrarian University: 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005
Printing house address: 86, Politekhnicheskaya str., Bldg. 1, Aud. 117, Blagoveshchensk, Amur Region, 675005

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ.....	5
Анисимов Н. С. Формирование энтомофауны вредителей в соевых агроценозах с высокой степенью засоренности дурнишником сибирским (<i>Xanthium sibiricum</i> Patrin ex Widder)	5
Коновалова И. В., Клыков А. Г., Муругова Г. А. Оценка количественных признаков гибридов яровой мягкой пшеницы при реципрокных скрещиваниях в условиях Приморского края	9
Коробейников А. С., Ашмарина Л. Ф., Алабугина М. Л. Фитоиммунологическая оценка селекционных образцов сои в условиях северной лесостепи Западной Сибири	18
Тараканов Р. И., Джалилов Ф. С.-У. Сравнительная оценка устойчивости сортов сои к бактериальному ожогу и ржаво-буровой бактериальной пятнистости и увяданию	23
Тимкин П. Д., Пензин А. А. Грибные инфекции сои: обзор открытых геномных коллекций и будущие перспективы молекулярной диагностики	28
ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ	49
Карамушкина С. В. Роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои.	49
Карамушкина С. В., Жевнеров А. В. Особенности минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои	56
Степура Е. Е., Федоров В. И., Дмитриева Т. И. Анализ скаттерограмм сердечного ритма у северных домашних оленей эвенкийской породы Республики Саха (Якутия)	63
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	69
Голуб О. В., Мотовилова Н. В., Мотовилов О. К. Исследования характеристик качества продукта из сливок повышенной жирности, обогащенного функциональным пищевым ингредиентом	69
Таханов М. П., Петров Н. В. Математическая модель для анализа работы метантенка	78
Шульгина Л. В., Якуш Е. В., Бутенко А. Р. Консервированные продукты из сельди тихоокеанской и их значение в питании человека	84
ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В ЖУРНАЛЕ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК».....	96

CONTENTS

AGRONOMY	5
<i>Anisimov N. S.</i> Formation of entomofauna of pests in soybean agroecosystems with a high degree of infestation by Siberian cocklebur (<i>Xanthium sibiricum</i> Patrin ex Widder).....	5
<i>Konovalova I. V., Klykov A. G., Murugova G. A.</i> Evaluating quantitative traits in soft spring wheat hybrids obtained through reciprocal crosses under the conditions of Primorsky krai	9
<i>Korobeinikov A. S., Ashmarina L. F., Alabugina M. L.</i> Phytoimmunological assessment of soybean breeding samples in the conditions of the northern forest-steppe of Western Siberia	18
<i>Tarakanov R. I., Dzhalilov F. S.-U.</i> Comparative assessment of the resistance of soybean cultivars to bacterial blight and rusty-brown bacterial spot and wilting.....	23
<i>Timkin P. D., Penzin A. A.</i> Soybean fungi: A review of open genomic collections and future prospects for molecular diagnostics.....	28
ANIMAL BREEDING AND VETERINARY	49
<i>Karamushkina S. V.</i> The role of sheep rumen ciliates in the metabolism of soybean processing products.....	49
<i>Karamushkina S. V., Zhevnerov A. V.</i> Features of mineral metabolism in sheep when soybean processing products are introduced into the diet.....	56
<i>Stepura E. E., Fedorov V. I., Dmitrieva T. I.</i> Analysis of scatterograms of heart rate in northern domestic reindeer of the Evenki breed of the Republic of Sakha (Yakutia)	63
AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES	69
<i>Golub O. V., Motovilova N. V., Motovilov O. K.</i> Quality characteristics of a made from high-fat cream product fortified with a functional food ingredient.....	69
<i>Takhanov M. P., Petrov N. V.</i> Mathematical model for analyzing the operation of a methane tank	78
<i>Shulgina L. V., Yakush E. V., Butenko A. R.</i> Canned Pacific herring products and their importance in human nutrition.....	84
THE REQUIREMENTS APPLIED TO THE ARTICLES BEING PUBLISHED IN THE FAR EASTERN AGRARIAN HERALD	96

АГРОНОМИЯ**AGRONOMY**

Научная статья

УДК 635.655:632.7(571.61)

EDN YBZMUE

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-5-8>

Формирование энтомофауны вредителей в соевых агроценозах с высокой степенью засоренности дурнишником сибирским (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder)

Николай Станиславович Анисимов

Всероссийский научно-исследовательский институт сои
Амурская область, Благовещенск, Россия, havamall@mail.ru

Аннотация. В 2024 году в Амурской области проведены исследования особенностей распространения вредителей в зависимости от видового состава и плотности сорных растений. В данной статье представлены результаты исследований энтомофауны вредителей в соевых посевах, засоренных дурнишником сибирским (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder). Выявлено восемь видов насекомых-вредителей. Отмечено большое влияние дурнишника сибирского на распространение *Monolepta quadriguttata* (Motschulsky, 1860). Плотность вредителя в засоренных посевах втрое выше, чем на очищенных от сорняка полях. Сильное влияние дурнишник оказывает также на распространение соевой плодожорки и лугового мотылька. При этом плотность плодожорки в засоренных дурнишником посевах повышается вдвое, плотность лугового мотылька – примерно в полтора раза. Автором также отмечено, что перекрытие растений сои вышедшим в верхний ярус сорняком препятствует вентиляции посевов и провоцирует развитие грибных заболеваний.

Ключевые слова: соя, дурнишник, вредители, видовой состав, распространение, Амурская область

Для цитирования: Анисимов Н. С. Формирование энтомофауны вредителей в соевых агроценозах с высокой степенью засоренности дурнишником сибирским (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder) // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 5–8. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-5-8>.

Original article

Formation of entomofauna of pests in soybean agrocenoses with a high degree of infestation by Siberian cocklebur (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder)

Nikolay S. Anisimov

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean
Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation, havamall@mail.ru

Abstract. In 2024, studies of the distribution patterns of pests depending on the species composition and density of weeds were conducted in the Amur region. This paper presents the results of a study of the entomofauna of pests in soybean crops infested with Siberian cocklebur (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder). Eight species of insect pests were identified, and a significant influence of Siberian cocklebur on the distribution of *Monolepta quadriguttata* (Motschulsky, 1860) was noted. The pest density in clogged crops is three times higher than in weed-free fields. Siberian cocklebur also has a strong influence on the spread of soybean fruitworm and meadow moth. At the same time, the density of the soybean fruitworm in cocklebur-clogged crops doubles,

and the density of the meadow moth increases by about one and a half times. The author also noted that the overlap of soybean plants with weeds that have entered the upper tier prevents ventilation of crops and provokes the development of fungal diseases.

Keywords: soybean, cocklebur, pests, species composition, distribution, Amur region

For citation: Anisimov N. S. Formation of entomofauna of pests in soybean agroecosystems with a high degree of infestation by Siberian cocklebur (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder). *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik.* 2025;19;3:5–8. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-5-8>.

Введение. Дурнишник – род однолетних растений, включающий от трех и более видов в зависимости от используемой системы классификации. При этом три вида (дурнишник сибирский (*Xanthium sibiricum* Patrin ex Widder), дурнишник колючий (*Xanthium spinosum* L.) и дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium* L.)) признаются практически всеми ботаниками. Другие виды выделяются лишь отдельными учеными [1].

В Амурской области встречается один вид – дурнишник сибирский. Растение в естественной среде встречается в первичных сукцессиях: на склонах оврагов, по берегам рек и на пожарищах. Дурнишник охотно заселяет нарушенные местообитания: свалки, пустыри, выгоны. Семена дурнишника представляют опасность для животноводства, так как обладают прочными покровами и вооружены острыми шипами. При попадании в корм они могут вызвать серьезное расстройство пищеварения и даже гибель животных. Листья и стебли дурнишника жесткие и не употребляются в пищу крупным рогатым скотом [2].

Дурнишник не имеет естественных врагов среди листогрызущих насекомых, обнаружены только единичные повреждения цветков гусеницами совок-капюшонниц (Noctuidae: Cucullinae), что практически не вредит растению.

Целью исследований явилось установление энтомофауны вредителей в соевых посевах, засоренных дурнишником сибирским, на примере Амурской области.

В период 2019–2024 гг. нами изучались видовой состав, распространение, плотность и стационарная приуроченность популяций насекомых-вредителей сои в Амурской области [3]. В ходе полевых исследований в 2024 г. были выявлены некоторые особенности распространения вредителей в зависимости от степени за-

соренности посевов сои дурнишником сибирским.

Результаты исследований. На территории Амурской области в соевых агроценозах с высокой степенью засоренности дурнишником сибирским нами отмечены следующие виды насекомых – вредителей сои из отряда чешуекрылых:

Loxostege sticticalis (Linnaeus, 1761) (луговой мотылек);

Heliothis adaucta (Butler, 1878) (совка донниковая);

Pyrria umbra (Hufnagel, 1766) (совка стальниковая);

Ascotis selenaria (Denis & Schiffermüller, 1775) (пяденица дымчатая полынная);

Biston betularia (Linnaeus, 1758) (пяденица березовая);

Leguminivora glycinivorella (Matsumura, 1898) (плодожорка соевая).

Из отряда жесткокрылых насекомые представлены видами:

Medythia nigrobilineata (Motschulsky, 1861) (листоед соевый полосатый);

Monolepta quadriguttata (Motschulsky, 1860) (листоед четырехточечный).

Наибольшее влияние засоренность дурнишником оказывает на распространение четырехточечного листоеда (*Monolepta quadriguttata*). Плотность вредителя в засоренных посевах втрое выше, чем на очищенных от сорняка полях.

В естественной среде четырехточечный листоед предпочитает заросли леспреды (Lespedeza bicolor Turcz.), которые выше и плотнее, чем посевы сои.

Сильное влияние дурнишник оказывает также на распространение соевой плодожорки и лугового мотылька. Плотность плодожорки в засоренных дурнишником посевах повышается вдвое, плотность лугового мотылька – примерно в полтора раза (рис. 1). Влияние дурнишни-

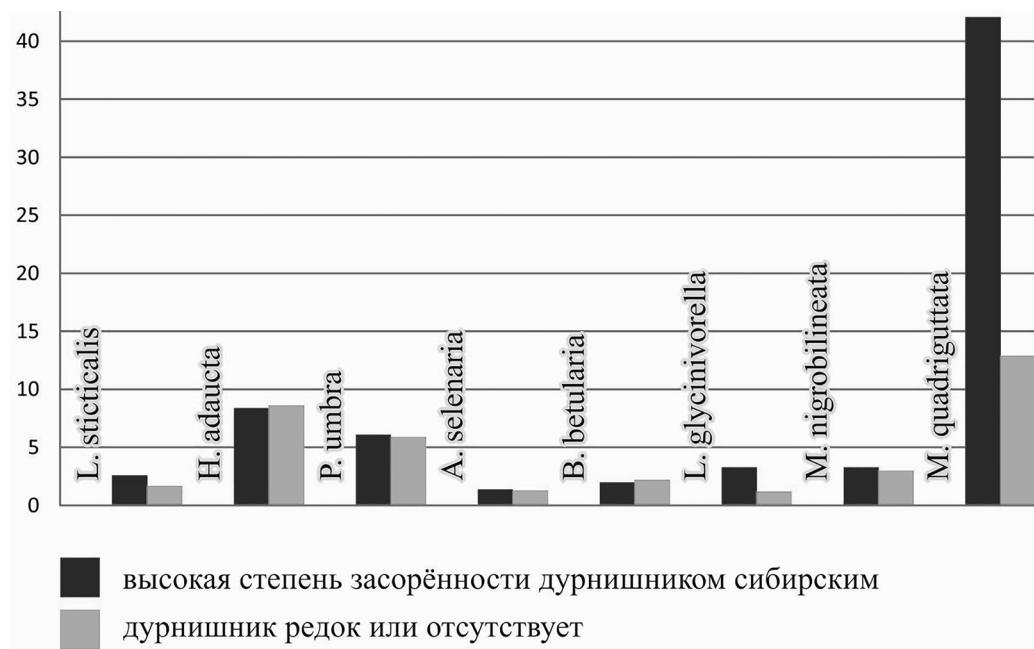


Рисунок 1 – Плотность насекомых-вредителей при разной степени засоренности поля дурнишником сибирским, экз./м²

Figure 1 – Insect pest density at different levels of infestation of the field with Siberian cocklebur, exemplar/m²

ка на распространение других вредителей не отмечено.

Дурнишник сибирский – один из основных позднеяровых сорняков в посевах сои в Амурской области. Уже в середине июля он выходит в верхний ярус и активно подавляет основную культуру. Это крупное, широколистное растение, которое при высокой плотности начинает создавать собственную среду обитания.

В агроценозах, сильно засоренных дурнишником, создаются микроклиматические условия, характерные для высокотравных лугов. При этом нарушается проветривание посевов, повышается влажность у поверхности почвы, затеняются растения, находящиеся в нижних ярусах относительно сорняка. Это привлекает листогрызущих насекомых, предпочитающих гумидные местообитания.

Нарушение вентиляции в посевах, сильно засоренных дурнишником, также провоцирует раннее проявление симптомов грибных заболеваний сои. В частности, симптомы септориоза появляются в среднем на 7–9 дней раньше, чем в чистых посевах. По нашим наблюдениям, в засоренных посевах количество пораженных

септориозом растений на квадратном метре увеличивается на 35 %, а пораженных переноспорозом – на 40 %.

Заключение. Дурнишник сибирский оказывает не только непосредственный вред, затеняя растения сои и отнимая почвенные ресурсы, но и создает условия, привлекающие отдельные виды листогрызущих насекомых, наносящих дополнительный ущерб урожаю сои.

Перекрытие растений сои вышедшим в верхний ярус сорняком препятствует вентиляции посевов и провоцирует развитие грибных заболеваний.

Борьба с дурнишником осложнена его высокой устойчивостью к гербицидам, рекомендованным к применению в посевах сои [4, 5], что приводит к быстрому увеличению густоты стояния сорняка в бессменных посевах.

Полноценная очистка посевов от дурнишника сибирского возможна только в севооборотах. Применение гербицидов широкого спектра в посевах однодольных растений дает хороший результат и способно полностью очистить посевы от данного сорняка [6].

Список источников

1. Ворошилов В. Н. Список сосудистых растений советского Дальнего Востока // Флористические исследования в разных районах СССР. М. : Наука, 1985. С. 139–200.
2. Демидова А. Г., Уваров Г. И. Кормопроизводство : практикум. Белгород : Белгородский государственный аграрный университет, 2014. 246 с. EDN TYHXFL.
3. Кузьмин А. А., Анисимов Н. С. Вредители сои в Амурской области, их распространение и стационарная приуроченность // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. Т. 18. № 2. С. 42–54. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-2-42-54. EDN WRKVUW.
4. Мороховец Т. В., Мороховец В. Н., Маркова Е. С., Басай З. В., Вострикова С. С., Скорик Н. С. Фазовая чувствительность некоторых видов широколистных сорных растений к гербициду Флекс // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 5. С. 32–41. doi: 10.26898/0370-8799-2022-5-4. EDN TKDDSQ.
5. Мороховец В. Н., Мороховец Т. В., Басай З. В. Результаты изучения эффективности гербицида Фабиан // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 12. С. 20–23. EDN TEKQXH.
6. Синеговский М. О., Кузьмин А. А. Состояние, перспективы и фитосанитарные риски производства сои // Защита и карантин растений. 2020. № 10. С. 7–12. doi: 10.47528/1026-8634_2020_10_7. EDN NIMKVP.

References

1. Voroshilov V. N. List of vascular plants of the Soviet Far East. In.: *Floristicheskie issledovaniya v raznykh raionakh SSSR*, Moscow, Nauka, 1985, P. 139–200 (in Russ.).
2. Demidova A. G., Uvarov G. I. *Feed production: workshop*, Belgorod, Belgorodskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2014, 246 p. EDN TYHXFL (in Russ.).
3. Kuzmin A. A., Anisimov N. S. Soybean pests in Amur region: distribution and station confinement. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2024;18;2:42–54. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-2-42-54. EDN WRKVUW (in Russ.).
4. Morokhovets T. V., Morokhovets V. N., Markova E. S., Basay Z. V., Vostrikova S. S., Skorik N. S. Phase sensitivity of some broad-leaved weed species to the herbicide Flex. *Sibirs'kii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2022;52;5:32–41 doi: 10.26898/0370-8799-2022-5-4. EDN TKDDSQ (in Russ.).
5. Morokhovets V. N., Morokhovets T. V., Basay Z. V. Study results of herbicide Fabian efficiency. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2014;12:20–23. EDN TEKQXH (in Russ.).
6. Sinegovsky M. O., Kuzmin A. A. State, prospects and phytosanitary risks of soybean productions. *Zashchita i karantin rastenii*, 2020;10:7–12. doi: 10.47528/1026-8634_2020_10_7. EDN NIMKVP (in Russ.).

© Анисимов Н. С., 2025

Статья поступила в редакцию 04.07.2025; одобрена после рецензирования 18.08.2025; принята к публикации 02.09.2025.

The article was submitted 04.07.2025; approved after reviewing 18.08.2025; accepted for publication 02.09.2025.

Информация об авторе

Анисимов Николай Станиславович, научный сотрудник лаборатории земледелия, агрохимии и защиты растений, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, havamall@mail.ru

Information about the author

Nikolay S. Anisimov, Researcher of the Laboratory of Agriculture, Agrochemistry and Plant Protection, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, havamall@mail.ru

Научная статья

УДК 633.11:631.527.5(571.63)

EDN TDSUZY

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-9-17>

Оценка количественных признаков гибридов яровой мягкой пшеницы при реципрокных скрещиваниях в условиях Приморского края

Инна Витальевна Коновалова¹, Алексей Григорьевич Клыков²,
Галина Александровна Муругова³

^{1, 2, 3} Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки
Приморский край, Тимирязевский, Россия

¹ konovalovainna@list.ru, ² alex.klykov@mail.ru, ³ gal.murugova@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты анализа проявления эффекта гетерозиса и оценки степени и частоты трансгрессии по элементам продуктивности (продуктивная кустистость, число колосков, число зерен в колосе, масса зерна с главного колоса и растения) у гибридов F_1 и F_2 яровой мягкой пшеницы при реципрокных скрещиваниях. Исследования проводились в лаборатории селекции зерновых и крупяных культур Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки в период 2023–2024 гг. В качестве родительской формы использовали высокопродуктивные сорта Приморская 40 (селекции Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки), Пламя (Республика Беларусь); Исеть 45, Баганская 12, Саратовская 29, Агата, Ария (Россия). Исследования показали, что наиболее ценными комбинациями в селекции являются те, у которых в F_1 и F_2 доминируют признаки высокой массы зерна с растения, числа зерен в колосе, продуктивной кустистости и массы зерна с главного колоса. В наших исследованиях наибольшим гетерозисным эффектом характеризовались гибриды с участием сортов Баганская 12, Саратовская 29, Пламя, Агата, Ария, Исеть 45. Наиболее высокие показатели трансгрессии выявлены у гибридных линий F_2 : Баганская 12 × Приморская 40, Исеть 45 × Приморская 40, Агата × Приморская 40, Ария × Приморская 40, Приморская 40 × Ария, Приморская 40 × Пламя, Приморская 40 × Исеть 45, Приморская 40 × Саратовская 29, Пламя × Приморская 40. Для использования в селекционных программах по яровой пшенице на высокую продуктивность в условиях Приморского края рекомендуется применять в гибридизации реципрокные скрещивания.

Ключевые слова: яровая пшеница, гибридизация, признак, гибрид, реципрокные скрещивания, степень доминирования, гетерозис, степень и частота трансгрессии

Для цитирования: Коновалова И. В., Клыков А. Г., Муругова Г. А. Оценка количественных признаков гибридов яровой мягкой пшеницы при реципрокных скрещиваниях в условиях Приморского края // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 9–17.
<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-9-17>.

Original article

Evaluating quantitative traits in soft spring wheat hybrids obtained through reciprocal crosses under the conditions of Primorsky krai

Inna V. Konovalova¹, Aleksei G. Klykov², Galina A. Murugova³

^{1, 2, 3} Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, Primorsky krai, Timiryazevsky, Russian Federation

¹ konovalovainna@list.ru, ² alex.klykov@mail.ru, ³ gal.murugova@yandex.ru

Abstract. The paper presents the results of a study on the heterosis effect and the magnitude and frequency of transgression in key productivity components (productive tillering, number of

spikelets per spike, grain weight from the main spike, and grain weight per plant) in F_1 and F_2 soft spring wheat hybrids obtained through reciprocal crosses. The research was carried out in 2023–2024 by the Laboratory of the Breeding of Grain and Cereal Crops at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika. Highly productive varieties were used as parental forms: Primorskaya 40 (developed at the aforementioned center), Plamya (Belarus); Iset' 45, Baganskaya 12, Saratovskaya 29, Agata, and Ariya (Russia). The research identified the most valuable hybrid combinations based on the dominance of favorable traits such as high grain weight per plant, number of grain per spike, productive tillering, and grain weight from the main spike in both F_1 and F_2 generations. In our research, the strongest heterosis effect was observed in hybrids derived from Baganskaya 12, Saratovskaya 29, Plamya, Agata, Ariya, and Iset' 45. Elevated values of transgression parameters were recorded in the following F_2 hybrid lines: Baganskaya 12 × Primorskaya 40, Iset' 45 × Primorskaya 40, Agata × Primorskaya 40, Ariya × Primorskaya 40, Primorskaya 40 × Ariya, Primorskaya 40 × Plamya, Primorskaya 40 × Iset' 45, Primorskaya 40 × Saratovskaya 29, and Plamya × Primorskaya 40. The findings support the use of reciprocal crossing as an effective strategy in breeding programs aimed at improving productivity in spring wheat under the conditions of Primorsky krai.

Keywords: spring wheat, hybridization, trait, hybrid, reciprocal crosses, degree of dominance, heterosis, magnitude and frequency of transgression

For citation: Konovalova I. V., Klykov A. G., Murugova G. A. Evaluating quantitative traits in soft spring wheat hybrids obtained through reciprocal crosses under the conditions of Primorsky krai. *Dal'nrevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:3:9–17. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-9-17>.

Введение. Выявление трансгрессивных растений по хозяйственно важным признакам у пшеницы является главным аспектом любой селекционной программы. Как известно, продуктивность сорта пшеницы складывается из многих элементов структуры урожая, таких как продуктивная кустистость, длина колоса, число зерен в колосе, продуктивность главного колоса и одного растения в целом.

Для эффективности селекционного процесса необходим целенаправленный подбор родительских пар для гибридизации, изучения передачи наследственных признаков и определения гибридных комбинаций, в которых отборы ценных селекционных форм будут более вероятными. Одним из таких факторов является величина и степень проявления гетерозиса. Считается, что изучение гетерозиса у гибридов F_1 яровой пшеницы позволяет определить гибридные комбинации с наибольшим проявлением ценных для отбора трансгрессивных форм [1, 2]. Ценные селекционные формы начинают отбирать во втором поколении, и от результативности этой работы зависит успех при выведении новых сортов. Следовательно, зная степень и частоту трансгрессии в конкретной гибридной комбинации, селекционер может увеличить число отбираемых особей.

В этой связи при правильном подборе родительских пар в процессе гибридизации большое значение придается не только изучению исходных сортов, как носителей необходимых признаков, но и проблеме наследования и передачи количественных показателей от родителей к потомкам.

Цель исследований – изучить наследование количественных признаков у гибридов яровой мягкой пшеницы в reciprocalных скрещиваниях в условиях Приморского края.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в лаборатории селекции зерновых и крупяных культур Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки в 2023–2024 гг.

Объектом изучения были 12 гибридных комбинаций, полученных в результате прямых и обратных скрещиваний. В качестве родительских форм использовали выделившиеся в результате изучения коллекции сорта яровой мягкой пшеницы с ценными хозяйствственно-биологическими признаками: Приморская 40 (селекции указанного научного центра); Пламя (Республика Беларусь); Исеть 45, Баганская 12, Саратовская 29, Агата, Ария (Россия).

В 2023 г. гибридные растения высевали в гибридном питомнике по блочной схеме: ♀–F₁–♂ и ♀–F₂–♂. В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Гибриды и родительские формы анализировали по важнейшим хозяйствственно ценным признакам (продуктивная кустистость, длина колоса, количество зерен в колосе, масса зерна с главного колоса и одного растения).

Степень фенотипического доминирования (*Hp*) определялась по методу Гриффинга [3]. Для оценки истинного гетерозиса (*Гист*) использовался метод расчета коэффициентов по Д. С. Омарову [4]. Гетерозис истинный характеризует более сильное проявление признака в F₁ по сравнению с лучшей родительской формой.

У гибридных популяций второго поколения, полученных в результате реципрокных скрещиваний, определяли степень (*Tc*) и частоту (*Tч*) положительных трансгессий изучаемых признаков по методике, описанной Г. С. Воскресенской и В. И. Шпотом [5].

Фенологические наблюдения, полевые учеты и оценки осуществляли по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и методике полевого опыта. Обработка статистических данных проведена по методике, изложенной Б. А. Доспеховым [6].

Результаты исследований. Анализ степени доминирования и проявления гетерозиса в первом поколении (F₁), а также степени и частоты трансгессии во втором поколении (F₂) проводили при прямых и обратных скрещиваниях по основным элементам продуктивности: продуктивная кустистость, длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна с главного колоса и одного растения.

Наследование качественных признаков у гибридов F₁ очень специфично и варьирует от депрессии до сверхдоминирования. При сравнении прямых и обратных комбинаций скрещиваний по продуктивной кустистости у гибридов отмечены доминантные эффекты, а также гетерозис.

Как правило, ценные селекционные формы начинают отбирать во втором поколении, и от результативности этой работы зависит успех при выведении новых

сортов. Следовательно, зная степень и частоту трансгессии в конкретной гибридной комбинации, селекционер может увеличить число отбираемых особей [1, 7].

У гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы с положительным гетерозисом и высокой доминантностью наблюдается появление положительных трансгессивных признаков во втором поколении [8–12].

Продуктивная кустистость у родительских форм варьировала в пределах 3,0–5,0 шт. При этом из 12 изученных гибридных линий пять комбинаций имели более высокую продуктивную кустистость, чем их родители (табл. 1).

Сравнение гибридов яровой мягкой пшеницы от прямого и обратного скрещивания в пределах реципрокных пар показало, что из 12 проанализированных комбинаций высокая степень истинного гетерозиса отмечена у трех комбинаций при прямых скрещиваниях:

Приморская 40 × Саратовская 29 (31,2 %);
Приморская 40 × Агата (20,5 %);
Приморская 40 × Пламя (14,3 %).

Также она характерна для трех обратных комбинаций скрещиваний:

Исеть 45 × Приморская 40 (16,3 %);
Баганская 12 × Приморская 40 (40,0 %);
Ария × Приморская 40 (46,1 %).

При анализе гибридов второго поколения по продуктивной кустистости положительная степень трансгессии наблюдалась в 12 комбинациях. Наибольшую ценность для практической селекции имеют комбинации с высокими значениями трансгессивной изменчивости (первая цифра указывает на степень, вторая – на частоту положительных трансгессий):

Приморская 40 × Исеть 45 (10,0; 40,0);
Приморская 40 × Саратовская 29 (31,2; 71,4);
Приморская 40 × Агата (12,5; 75,0);
Приморская 40 × Пламя (33,3; 40,0);
Исеть 45 × Приморская 40 (13,5; 50,0);
Баганская 12 × Приморская 40 (40,0; 71,4);
Пламя × Приморская 40 (22,2; 40,0).

Признаком для отбора на ранних этапах селекции является «длина колоса». Длина колоса у родительских форм варьировала от 8,4 до 12,2 см. Из 12 изученных

Таблица 1 – Характер наследования продуктивной кустистости у гибридов F_1 и F_2 яровой мягкой пшеницы

Table 1 – Inheritance of productive tillering in F_1 and F_2 soft spring wheat hybrids

Комбинация скрещиваний ($\text{♀} \times \text{♂}$)	Продуктивная кустистость, шт.			F_1			F_2	
	$P\text{♀}$	F_1	$P\text{♂}$	Гист, %	Ггип, %	Нр	Тс, %	Тч, %
Приморская 40 × Исеть 45	3,9	4,6	4,3	6,9	12,2	2,5	10,0	40,0
Исеть 45 × Приморская 40	4,3	5,0	3,9	16,3	22,0	4,5	13,5	50,0
Приморская 40 × Баганская 12	3,9	5,3	5,0	6,0	20,5	0,5	6,0	14,3
Баганская 12 × Приморская 40	5,0	7,0	3,9	40,0	59,0	4,3	40,0	71,4
Приморская 40 × Саратовская 29	3,9	6,3	4,8	31,2	43,2	4,8	31,2	71,4
Саратовская 29 × Приморская 40	4,8	4,9	3,9	2,1	11,4	1,2	2,1	30,0
Приморская 40 × Агата	3,9	4,7	3,3	20,5	30,6	3,7	12,5	75,0
Агата × Приморская 40	3,3	3,2	3,9	-17,9	-11,1	-1,3	2,6	50,0
Приморская 40 × Пламя	3,9	4,8	4,5	14,3	6,7	2,0	33,3	40,0
Пламя × Приморская 40	4,5	4,0	3,9	-4,8	-11,1	-0,6	22,2	40,0
Приморская 40 × Ария	3,9	5,2	3,0	33,3	52,9	3,6	7,1	80,0
Ария × Приморская 40	3,0	5,7	3,9	46,1	67,6	4,6	1,8	100,0

гибридных линий 10 комбинаций имели более длинные колоски, чем их родители. Наибольшей длиной колоса (13,0 см) характеризовались гибриды, полученные от прямого и обратного скрещивания, показанные в таблице 2:

Исеть 45 × Приморская 40;

Приморская 40 × Баганская 12.

Степень истинного гетерозиса отмечена невысокая (1,8–6,6 %) и лишь у обратной комбинации Исеть 45 × Приморская 40 она составила 17,1 %. Наблюдалась депрессия при реципрокных скрещиваниях у гибридов:

Приморская 40 × Саратовская 29 (-14,4 %);

Пламя × Приморская 40 (-2,7 %);

Приморская 40 × Ария (-6,3 %).

При анализе гибридов второго поколения (F_2) по длине колоса положительная степень трансгрессии наблюдалась у 10 гибридных комбинаций прямых и обратных скрещиваний. Высокая степень и частота трансгрессии по признаку длины колоса зафиксированы у обратных комбинаций скрещиваний:

Исеть 45 × Приморская 40 (23,7 %);
Агата × Приморская 40 (10,7 %).

Отрицательная степень трансгрессии наблюдалась у гибридных линий:

Баганская 12 × Приморская 40 (-4,5 %);

Приморская 40 × Саратовская 29 (-10,3 %).

По длине колоса частота трансгрессии в 10 гибридных комбинациях варьировала от 40,0 до 100,0 %, и только у двух гибридных линий она принимала нулевое значение.

Число зерен в колосе влияет на продуктивность растения и урожайность сорта в целом (табл. 3).

Исследования показали, что у родительских форм число зерен в колосе варьировало в пределах 36,5–47,1 шт., а у гибридных комбинаций – 38,0–64,0 шт. Из 12 изученных гибридных линий 10 комбинаций имели больше зерен в колосе, чем их родители.

По данному признаку наблюдались три типа наследования: отрицательное доминирование, неполное доминирование ($\text{Нр} = 0,5$) и гетерозис. Наибольшая сте-

Таблица 2 – Характер наследования длины колоса у гибридов F₁ и F₂ яровой мягкой пшеницы**Table 2 – Inheritance of spike length in F₁ and F₂ soft spring wheat hybrids**

Комбинация скрещиваний (♀×♂)	Длина колоса, см			F ₁			F ₂	
	P♀	F ₁	P♂	Гист, %	Ггип, %	Нр	Tс, %	Tч, %
Приморская 40 × Исеть 45	11,1	11,4	10,1	2,7	7,5	1,6	3,4	40,0
Исеть 45 × Приморская 40	10,1	13,0	11,1	17,1	22,6	4,8	23,7	75,0
Приморская 40 × Баганская 12	11,1	13,0	12,2	6,6	12,0	2,3	4,8	42,8
Баганская 12 × Приморская 40	12,2	12,7	11,1	4,1	9,5	1,8	4,0	57,1
Приморская 40 × Саратовская 29	11,1	9,5	10,9	-14,4	-13,6	-15,0	-10,3	0,0
Саратовская 29 × Приморская 40	10,9	11,5	11,1	3,6	4,5	5,0	8,5	83,3
Приморская 40 × Агата	11,1	11,3	10,6	1,8	4,6	1,7	5,3	87,5
Агата × Приморская 40	10,6	11,2	11,1	1,8	4,6	1,7	10,7	100,0
Приморская 40 × Пламя	11,1	11,6	10,2	4,5	9,4	2,0	8,0	0,0
Пламя × Приморская 40	10,2	10,8	11,1	-2,7	1,9	0,4	3,6	80,0
Приморская 40 × Ария	11,1	10,4	8,4	-6,3	7,2	0,5	4,8	60,0
Ария × Приморская 40	8,4	11,5	11,1	3,6	17,9	1,3	5,7	100,0

Таблица 3 – Характер наследования числа зерен в колосе у гибридов F₁ и F₂ яровой мягкой пшеницы**Table 3 – Inheritance of the grain number per spike in F₁ and F₂ soft spring wheat hybrids**

Комбинация скрещиваний (♀×♂)	Число зерен в колосе, шт.			F ₁			F ₂	
	P♀	F ₁	P♂	Гист, %	Ггип, %	Нр	Tс, %	Tч, %
Приморская 40 × Исеть 45	39,3	47,4	40,0	18,5	19,4	25,7	18,5	40,0
Исеть 45 × Приморская 40	40,0	64,0	39,3	60,0	61,2	81,0	60,0	100,0
Приморская 40 × Баганская 12	39,3	43,7	42,0	4,0	7,6	2,2	4,0	71,4
Баганская 12 × Приморская 40	42,0	47,0	39,3	11,9	15,8	4,6	11,9	71,4
Приморская 40 × Саратовская 29	39,3	40,0	36,5	1,8	5,5	1,5	1,8	57,1
Саратовская 29 × Приморская 40	36,5	46,7	39,3	18,8	23,2	6,3	18,8	100,0
Приморская 40 × Агата	39,3	38,0	41,8	-21,0	-13,0	-1,3	-9,0	0,0
Агата × Приморская 40	41,8	46,0	39,3	10,0	5,3	0,5	10,0	25,0
Приморская 40 × Пламя	39,3	56,4	47,1	19,7	30,6	3,4	19,7	60,0
Пламя × Приморская 40	47,1	53,0	39,3	12,5	22,7	2,5	12,6	20,0
Приморская 40 × Ария	39,3	44,4	38,2	13,0	14,7	9,5	12,9	80,0
Ария × Приморская 40	38,2	45,7	39,3	16,3	18,1	11,7	16,2	33,3

пень фенотипического доминирования отмечена у обратной гибридной комбинации Исеть 45 × Приморская 40 (81,0). Высокая степень гипотетического и истинного гетерозиса отмечена у обратной гибридной комбинации Исеть 45 × Приморская 40 (61,2 и 60,0 % соответственно). Следует отметить, что гетерозисный эффект выше у тех гибридов, где родительские формы незначительно различаются по данному признаку.

По числу зерен в колосе у гибридов второго поколения положительная степень трансгрессии выявлена у 11 реципрокных пар скрещиваний; отрицательная степень трансгрессии отмечена у одной гибридной линии: Приморская 40 × Агата (-9,0 %). Частота трансгрессии в гибридных комбинациях изменялась от 20,0 до 100 % и только у одной гибридной линии (Приморская 40 × Агата) она принимала нулевое значение.

Продуктивность растения тесно связана со всеми ее элементами. Анализ прямых и обратных скрещиваний показал, что масса зерна с растения у гибридов F₁

варьировала от 4,53 до 10,17 г (табл. 4). Наследование очень специфично и варьирует от депрессии до гетерозиса, что открывает возможности отбора ценных форм. Высокая степень фенотипического доминирования отмечена у комбинации Приморская 40 × Исеть 45.

Наибольшая степень истинного гетерозиса проявилась у пяти гибридных комбинаций:

Приморская 40 × Пламя (45,6 %);
Приморская 40 × Исеть 45 (33,2 %);
Ария × Приморская 40 (29,1 %);
Приморская 40 × Саратовская 29 (24,9 %);
Баганская 12 × Приморская 40 (24,3 %).

По массе зерна с растения большинство гибридов яровой мягкой пшеницы имели положительную степень трансгрессии. Среди них отмечены две комбинации с высокой степенью трансгрессии:

Приморская 40 × Пламя (47,3 %);
Приморская 40 × Исеть (32,8 %).

Заключение. Использование в реципрокном скрещивании родительских

Таблица 4 – Характер наследования массы зерна с растения у гибридов F₁ и F₂ яровой мягкой пшеницы

Table 4 – Inheritance of the grain weight per plant in F₁ and F₂ soft spring wheat hybrids

Комбинация скрещиваний (♀×♂)	Масса зерна с одного растения, г			F ₁			F ₂	
	P♀	F ₁	P♂	Гист, %	Ггип, %	Нр	Tс, %	Tч, %
Приморская 40 × Исеть 45	6,59	8,78	6,25	33,2	36,7	13,9	32,8	80,0
Исеть 45 × Приморская 40	6,25	6,90	6,59	4,7	7,5	2,8	0,8	80,0
Приморская 40 × Баганская 12	6,59	7,92	7,56	4,8	11,9	1,8	3,9	57,1
Баганская 12 × Приморская 40	7,56	9,40	6,59	24,3	32,8	4,8	23,3	71,4
Приморская 40 × Саратовская 29	6,59	8,23	5,69	24,9	34,0	4,6	17,4	42,8
Саратовская 29 × Приморская 40	5,69	6,96	6,59	5,6	13,4	1,8	5,1	66,6
Приморская 40 × Агата	6,59	6,61	4,73	0,3	16,8	1,0	0,3	28,6
Агата × Приморская 40	4,73	7,20	6,59	9,3	27,2	1,7	9,3	75,0
Приморская 40 × Пламя	6,59	9,60	5,85	45,6	54,3	9,1	47,3	60,0
Пламя × Приморская 40	5,85	7,12	6,59	8,0	14,5	2,4	8,0	60,0
Приморская 40 × Ария	6,59	9,32	7,88	18,3	28,9	3,2	18,3	80,0
Ария × Приморская 40	7,88	10,17	6,59	29,1	40,7	4,5	29,4	33,3

форм, максимально различающихся по элементам продуктивности растения, дает возможность получить гибриды первого поколения, значительно превосходящие родительские формы по продуктивности. Наиболее ценными комбинациями являются те, у которых в первом поколении доминируют признаки высокой продуктивности растений (продуктивная кустистость, длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна с главного колоса и растения).

В проведенных исследованиях наибольшим гетерозисным эффектом характеризовались гибриды с участием сортов Баганская 12, Саратовская 29, Пламя, Агата, Ария, Исеть 45. При этом целесообразно выделять комбинации в F_2 с высоким гетерозисным эффектом с целью дальнейшего изучения на предмет появления трансгрессий.

Во втором поколении гибридов выявлены трансгрессивные формы. При этом наиболее высокие показатели трансгрессии представлены у следующих гибридных линий:

Баганская 12 × Приморская 40;
Исеть 45 × Приморская 40;
Агата × Приморская 40;
Ария × Приморская 40;
Приморская 40 × Ария;
Приморская 40 × Пламя;
Приморская 40 × Исеть 45;
Приморская 40 × Саратовская 29;
Саратовская 29 × Приморская 40.

Отбор продуктивных форм по всем изученным признакам будет эффективен в более поздних поколениях гибридов.

Список источников

1. Абрамов А. Г., Абрамова И. Н., Братейко Е. Н., Клименко Н. Н. Селекционная ценность гибридов яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Предбайкалья // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (56). С. 6–14. doi: 10.34655/bgsha.2019.56.3.001. EDN XAZHUT.
2. Коновалова И. В., Богдан П. М., Клыков А. Г. Проявление эффекта гетерозиса по основным элементам продуктивности у внутривидовых гибридов яровой мягкой пшеницы // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 3 (43). С. 50–55. EDN ZWLBXR.
3. Зенищева Л. С. Наследуемость количественных признаков, определяющих устойчивость растений к полеганию // Сельскохозяйственная биология. 1968. Т. 3. № 5. С. 780–794.
4. Омаров Д. С. К методике оценки гетерозиса у растений // Сельскохозяйственная биология. 1975. Т. 10. № 1. С. 123–127.
5. Воскресенская Г. С., Шпата В. И. Трансгрессия признаков у гибридов BRASSICA и методика количественного учета этого явления // Доклады ВАСХНИЛ. 1967. № 7. С. 18–20.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Гаджиева С. К. Исследование некоторых количественных признаков гибридов первого поколения мягкой пшеницы (F_1) // Сборник научных трудов по агротехнике. Баку, 2017. С. 38–42.
8. Юсифова Г. М. Исследование наследственной передачи некоторых количественных признаков у реципрокных гибридов мягких сортов пшеницы первого поколения (F_1) // Актуальные проблемы современной аграрной и биологической наук: глобальные вызовы и инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф. Баку, 2022. С. 61–65.
9. Юсифова Г. М. Исследование некоторых количественных признаков у реципрокных гибридов мягких сортов пшеницы первого поколения (F_1) // Перспективы развития инновационных технологий в аграрном секторе : материалы междунар. науч. конф. Ленкорань, 2022. С. 153–155.
10. Новохатин В. В. Озимые сорта в селекции мягкой яровой пшеницы // Эпоха науки. 2020. № 24. С. 59–64. doi: 10.24411/2409-3203-2020-12412.
11. Юсифова Г. М. Проявление эффекта гетерозиса роста у внутривидовых гибридов мягкой пшеницы // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. № 7. С. 86–92. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/12>.

12. Зотова Л. П., Савин Т. В., Жумалин А. Х., Абдуллоев Ф. М., Хасанова Г. Ж. Оценка продуктивных и качественных характеристик перспективных линий яровой мягкой пшеницы // Вестник науки Казахского агротехнического университета. 2022. № 2 (113). С. 86–94. doi: 10.51452/kazatu.2022.2(113).983. EDN BMVKBQ.

References

1. Abramov A. G., Abramova I. N., Brateiko E. N., Klimenko N. N. Breeding value of spring wheat hybrids in forest-steppe zone of Cisbaikalia. *Vestnik Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2019;3(56):6–14. doi: 10.34655/bgsha.2019.56.3.001. EDN XAZHUT (in Russ.).
2. Konovalova I. V., Bogdan P. M., Klykov A. G. Manifestation of heterosis effect on the basic productivity elements of intraspecific hybrids of spring soft wheat. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2017;3(43):50–55. EDN ZWLBXR (in Russ.).
3. Zenishcheva L. S. The heritability of quantitative traits determining plant resistance to lodging. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 1968;3;5:780–794 (in Russ.).
4. Omarov D. S. On the methodology of the assessment of heterosis in plants. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 1975;10;1:123–127 (in Russ.).
5. Voskresenskaya G. S., Shpota V. I. Transgression of traits in Brassica hybrids and methods for quantitative assessment. *Doklady VASKhNIL*, 1967;7:18–20 (in Russ.).
6. Dospekhov B. A. *Methods of field experiments (with the basics of the statistical processing of research results)*, Moscow, Agropromizdat, 1985, 351 p. (in Russ.).
7. Gadzhieva S. K. Investigation of some quantitative characteristics of first-generation soft wheat (F_1) hybrids. Proceedings from *Sbornik nauchnykh trudov po agrotehnike*. (PP. 38–42), Baku, 2017 (in Azeri).
8. Yusifova G. M. Investigation of the hereditary transmission of certain quantitative traits in reciprocal hybrids of soft wheat varieties of the first generation (F_1). Proceedings from Current problems of modern agricultural and biological sciences: global challenges and innovations: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 61–65), Baku, 2022 (in Azeri).
9. Yusifova G. M. Investigation of some quantitative characteristics in reciprocal hybrids of soft wheat varieties of the first generation (F_1). Proceedings from Prospects for the development of innovative technologies in the agricultural sector: *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya*. (PP. 153–155), Lenkoran, 2022 (in Azeri).
10. Novokhatin V. V. Winter varieties in the breeding of soft spring wheat. *Ehpokha nauki*, 2020;24:59–64. doi: 10.24411/2409-3203-2020-12412 (in Russ.).
11. Yusifova G. M. Manifestation of the effect of growth heterosis in intraspecific hybrids of soft wheat. *Byulleten' nauki i praktiki*, 2024;10(7):86–92. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/12> (in Russ.).
12. Zотова Л. П., Савин Т. В., Жумалин А. Х., Абдуллоев Ф. М., Хасанова Г. Ж. Evaluation of productive and qualitative characteristics of promising lines of spring soft wheat. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotehnicheskogo universiteta*, 2022;2(113):86–94. doi: 10.51452/kazatu.2022.2(113).983. EDN BMVKBQ (in Russ.).

© Коновалова И. В., Клыков А. Г., Муругова Г. А., 2025

Статья поступила в редакцию 04.07.2025; одобрена после рецензирования 18.08.2025; принята к публикации 04.09.2025.

The article was submitted 04.07.2025; approved after reviewing 18.08.2025; accepted for publication 04.09.2025.

Информация об авторах

Коновалова Инна Витальевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1836-5342>, konovalovainna@list.ru;

Клыков Алексей Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>, alex.klykov@mail.ru;

Муругова Галина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4203-851X>, gal.murugova@yandex.ru

Information about the authors

Inna V. Konovalova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1836-5342>, konovalovainna@list.ru;

Aleksei G. Klykov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>, alex.klykov@mail.ru;

Galina A. Murugova, Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4203-851X>, gal.murugova@yandex.ru

Вклад авторов:

Коновалова И. В. – проведение исследований, обработка и анализ экспериментальных данных, написание статьи;

Клыков А. Г. – общее руководство исследованиями, редактирование статьи;

Муругова Г. А. – написание статьи, оформление и редактирование статьи

Contribution of the authors:

I. V. Konovalova – conducting research, processing and analyzing experimental data, writing an article;

A. G. Klykov – general research management, article editing;

G. A. Murugova – writing an article, formatting and editing an article

При этом все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 633.8(571.1)

EDN TFTPPQ

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-18-22>

Фитоиммунологическая оценка селекционных образцов сои в условиях северной лесостепи Западной Сибири

Александр Сергеевич Коробейников¹, Людмила Филипповна Ашмарина²,
Мария Леонидовна Алабугина³

^{1, 2, 3} Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, Краснообск, Россия

¹ contra.boehm@gmail.com, ² alf8@yandex.ru, ³ agafonovaml@yandex.ru

Аннотация. В условиях Западной Сибири, где выращивание сои расширяется, остро стоит проблема поражения посевов фитопатогенами, снижающими урожайность и качество продукции. Исследования проведены с 2020 по 2024 гг. на базе опытных полей Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук. В качестве образцов были использованы районированные сорта и сортобразцы сибирской селекции; в качестве сорта-стандарта – сорт СибНИИК-315. Выявлено влияние погодно-климатических условий на развитие болезней сои, таких как пероноспороз, пустульный бактериоз и черная бактериальная пятнистость. В течение 2020 и 2024 гг. наблюдались интенсивные осадки во второй половине вегетационного периода, что привело к интенсивному развитию листостебельных инфекций. В период с 2021 по 2023 гг. засушливость первой половины вегетационного периода и ограниченные осадки второй половины привели практически к полному отсутствию заболеваемости растений. По итогам исследований, сорт Горинская демонстрирует тенденцию к комплексной устойчивости, а СНК-154 – комплексную устойчивость к бактериозам. Выявлены также восприимчивые сорта, требующие дальнейшей адаптации к условиям региона.

Ключевые слова: сорта сои, пероноспороз, пустульный бактериоз, погодно-климатические условия, устойчивость, восприимчивость

Для цитирования: Коробейников А. С., Ашмарина Л. Ф., Алабугина М. Л. Фитоиммунологическая оценка селекционных образцов сои в условиях северной лесостепи Западной Сибири // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 18–22. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-18-22>.

Original article

Phytoimmunological assessment of soybean breeding samples in the conditions of the northern forest-steppe of Western Siberia

Alexander S. Korobeinikov¹, Lyudmila F. Ashmarina², Maria L. Alabugina³

^{1, 2, 3} Siberian Federal Research Centre of AgroBioTechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russian Federation

¹ contra.boehm@gmail.com, ² alf8@yandex.ru, ³ agafonovaml@yandex.ru

Abstract. In Western Siberia, where soybean production is expanding, there is a problem of damage to crops by phytopathogens that reduce yield and product quality. The research was conducted from 2020 to 2024 in the experimental fields of the Siberian Federal Research Center of AgroBiotechnologies. Zoned varieties and cultivars of Siberian breeding were used as samples. The influence of weather and climatic conditions on the development of soybean diseases has been revealed. During 2020 and 2024, intense precipitation was observed in the second half of the growing season, which led to the intensive development of leaf-stem infections. In the period

from 2021 to 2023, the aridity of the first half of the growing season and limited precipitation in the second half led to an almost complete absence of plant morbidity. The results show that the Gorinskaya variety shows a tendency towards complex resistance, and SNK-154 shows complex resistance to bacteriosis. Susceptible varieties have also been identified that require further adaptation to the conditions of the region.

Keywords: soybean varieties, downy mildew, pustular bacteriosis, weather and climatic conditions, resistance, susceptibility

For citation: Korobeinikov A. S., Ashmarina L. F., Alabugina M. L. Phytoimmunological assessment of soybean breeding samples in the conditions of the northern forest-steppe of Western Siberia. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:18–22. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-18-22>.

Введение. Ввиду многофункциональности такой культуры, как соя, ее возделывание распространяется на регионы, находящиеся за пределами естественного ареала. Одним из перспективных направлений возделывания этой культуры является производство высокобелковых кормов для животноводческой отрасли. В этой связи известно, что семена сои содержат по массе от 38 до 50 % белка [1] и незаменимые аминокислоты [2].

Однако в условиях Западно-Сибирского региона ежегодно имеет место поражение посевов сои комплексом фитопатогенов, существенно снижающих урожайность и качество продукции [3].

Среди наиболее распространенных заболеваний следует выделить перноспороз (возбудитель – *Peronospora manshurica* (Naum.) Syd.), распространяющийся в годы повышенной влажности в виде эпифитотий, а также ряд сопутствующих бактериальных и грибных инфекций: фузариоз (возбудитель – грибы рода *Fusarium*); пустульный бактериоз (возбудитель – *Xanthomonas apocynopodis* rv. *glycines*) и черную бактериальную пятнистость (возбудитель – *Pseudomonas syringae* rv. *phaseolicola*) [4]. В этой связи особую важность для выращивания сои в условиях Западной Сибири представляет оценка селекционного материала сои на устойчивость к указанным возбудителям.

Цель исследований состояла в проведении фитоиммунологической оценки селекционных образцов сои в условиях северной лесостепи Западной Сибири.

Условия и материалы исследований. Данная работа проводилась на базе опытных полей Сибирского федерального научного центра агроинженерии Российской академии наук в период с 2020 по

2024 гг. В качестве образцов были использованы районированные сорта и сортобразцы сибирской селекции, в качестве сорта-стандарта – СибНИИК-315.

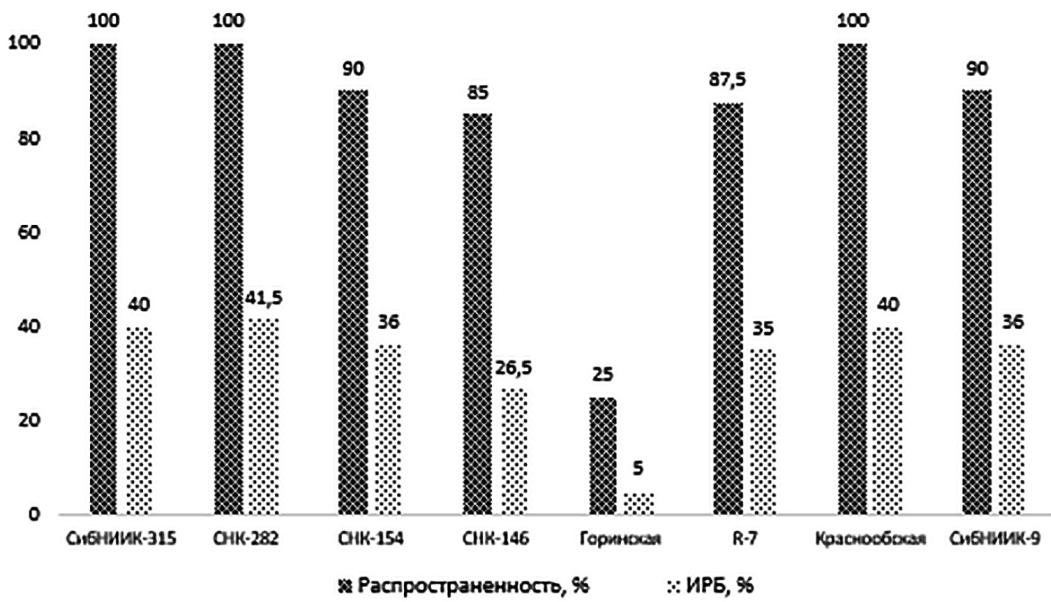
Опыт – мелкоделячный с равным числом повторений и рендомизированным размещением делянок.

Результаты исследований. На развитие болезней сои большое влияние оказывают погодно-климатические условия вегетационного периода. Так, указанные выше грибные и бактериальные инфекции наиболее интенсивно развиваются в условиях теплого влажного климата [4].

В течение всех лет наблюдений погодно-климатические условия существенным образом отличались. В частности, в течение 2020 и 2024 гг. наблюдались интенсивные осадки во второй половине вегетационного периода, что привело к интенсивному развитию листостебельных инфекций. В период 2021–2023 гг. засушливость первой половины вегетационного периода и ограниченные осадки второй половины привели практически к полному отсутствию заболеваемости растений.

Перноспороз наиболее ярко проявлялся на посевах сои в 2020 и 2024 гг. (рис. 1, табл. 1). На основании полученных данных возможно сделать вывод о проявлении устойчивости к перноспорозу сорта Горинская и о тенденции к устойчивости сорта Краснообская. Наиболее поражаемыми сортами были СНК-282, СНК-611 и СНК-673.

Бактериозы на сое также развивались неравномерно. Пустульный бактериоз и черная бактериальная пятнистость в разные годы исследований проявлялись либо сравнительно слабо, либо в виде единичных поражений. По результатам 2021 г. единственным достоверно восприимчивым



$HCP_{05} = 19,93$ (распространенность) и 11,31 (развитие болезни)

$HCP_{05} = 19.93$ (prevalence) and 11.31 (disease development)

Рисунок 1 – Распространенность и развитие пероноспороза в посевах сои в 2020 г.

Figure 1 – Prevalence and development of downy mildew in soybean crops in 2020

Таблица 1 – Распространенность и развитие пероноспороза в посевах сои в 2024 г.

Table 1 – Prevalence and development of downy mildew in soybean crops in 2024

В процентах (in percent)

Сорт	Распространенность	Индекс развития болезни
СибНИИК-315	75,0	19
СНК-611	92,5	23
Горинская	15,0	4*
Краснообская	32,5	8*
СибНИИК-9	67,5	17
СНК-673	75,0	19
HCP_{05}	288	9

* статистически достоверные данные.

к пустульному бактериозу сортом можно считать СНК-146.

В 2023 г. наблюдалось интенсивное распространение черной бактериальной пятнистости. Тем не менее индекс развития данной болезни был крайне низок, а достоверных различий между вариантами получено не было (рис. 2, табл. 2).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о наличии устойчивых к бактериозам сортов – Горинская и Краснообская. Восприимчивыми сортами выступают СНК-282 и СНК-146.

Заключение. По результатам исследований установлена тенденция к комплексной устойчивости у сорта Горинская, а также комплексная устойчивость к бактериозам у сорта СНК-154.

Также определен ряд восприимчивых сортов, в отношении которых требуется проведение дальнейшей работы по адаптации к погодно-климатическим условиям Западно-Сибирского региона. Важно проведение дальнейших исследований, включающих использование искусственного инфекционного фона, для повышения достоверности получаемых результатов.

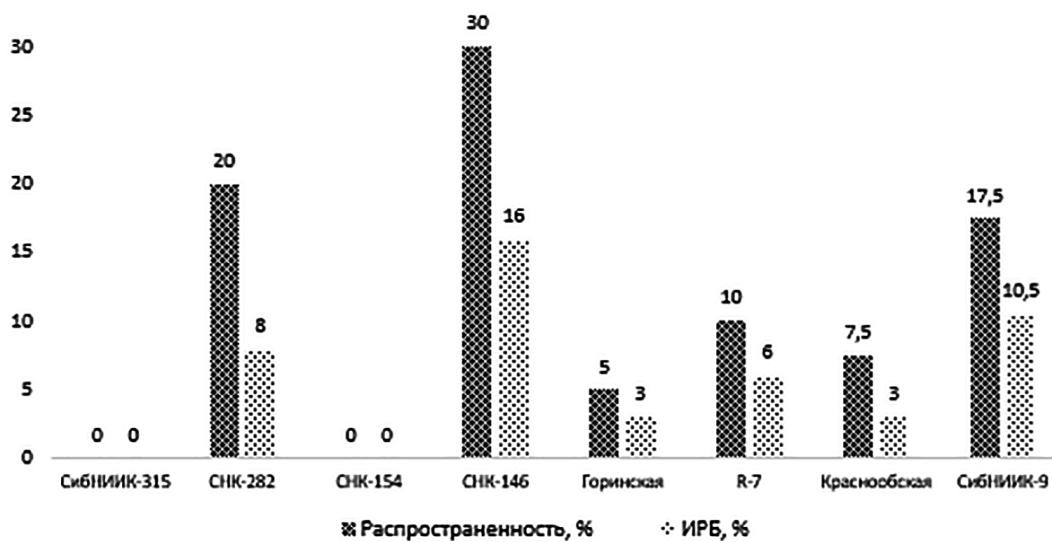


Рисунок 2 – Распространенность и развитие пустульного бактериоза в посевах сои в 2020 г.

Figure 2 – Prevalence and development of pustular bacteriosis in soybean crops in 2020

Таблица 2 – Распространенность и развитие черной бактериальной пятнистости в посевах сои в 2023 г.

Table 2 – Prevalence and development of black bacterial spot in soybean crops in 2023

В процентах (in percent)

Сорт	Распространенность	Индекс развития болезни
СибНИИК-315	57,5	13,0
СНК-282	77,5	26,0
СНК-154	60,0	17,5
СНК-146	57,5	21,0
Горинская	77,5	25,5
R-7	82,5	22,5
Краснообская	80,0	21,0
СибНИИК-9	95,0	19,0
HCP_{05}	52,7	20,0

Список источников

- Фадеева А. Н., Ибатулина Р. П., Тагиров М. Ш., Абросимова Т. Н. О потенциале продуктивности зернобобовых культур и ее повышении // Кормопроизводство. 2012. № 1. С. 21–23. EDN OOBZLT.
- Кашеваров Н. И., Горин В. Е., Лях А. А. Возделывание сои в Западной Сибири : рекомендации. Новосибирск : Сибирский научно-исследовательский институт кормов, 1999. 73 с.
- Ашмарина Л. Ф., Коняева Н. М., Горобей И. М. Болезни сои в Западной Сибири // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2008. № 1. С. 37–39. EDN IJPLLZ.
- Пивень В. Т., Баранов В. Ф., Дряхлов А. И. Защита сои // Защита и карантин растений. 2007. № 3. С. 77–106. EDN HZGLOB.

References

1. Fadeeva A. N., Ibatulina R. P., Tagirov M. Sh., Abrosimova T. N. About the productivity potential of leguminous crops and its increase. *Kormoproizvodstvo*, 2012;1:21–23. EDN OOBZLT (in Russ.).
2. Kashevarov N. I., Gorin V. E., Lyakh A. A. *Soybean cultivation in Western Siberia: recommendations*, Novosibirsk, Sibirskii nauchno-issledovatel'skii institut kormov, 1999, 73 p. (in Russ.).
3. Ashmarina L. F., Konyaeva N. M., Gorobey I. M. Soybean diseases in Western Siberia. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2008;1:37–39. EDN IJPLLZ (in Russ.).
4. Piven V. T., Baranov V. F., Dryakhlov A. I. Soybean protection. *Zashchita i karantin rastenii*, 2007;3:77–106. EDN HZGLOB (in Russ.).

© Коробейников А. С., Ашмарина Л. Ф., Алабугина М. Л., 2025

Статья поступила в редакцию 26.07.2025; одобрена после рецензирования 05.09.2025; принята к публикации 05.09.2025.

The article was submitted 26.07.2025; approved after reviewing 05.09.2025; accepted for publication 05.09.2025.

Информация об авторах

Коробейников Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, contra.boehm@gmail.com;

Ашмарина Людмила Филипповна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, alf8@yandex.ru;

Алабугина Мария Леонидовна, аспирант, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, agafonovaml@yandex.ru

Information about the authors

Alexander S. Korobeinikov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Research Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, contra.boehm@gmail.com;

Lyudmila F. Ashmarina, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Siberian Federal Research Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, alf8@yandex.ru;

Maria L. Alabugina, Postgraduate Student, Siberian Federal Research Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, agafonovaml@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 635.655:632.1

EDN TOOWUT

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-23-27>

Сравнительная оценка устойчивости сортов сои к бактериальному ожогу и ржаво-буровой бактериальной пятнистости и увяданию

Рашит Исламович Тараканов¹, Февзи Сеид-Умерович Джалилов²

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия, r.tarakanov@rgau-msha.ru

Аннотация. В статье приведены результаты оценки устойчивости сортов сои к возбудителям бактериальных болезней – *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* и *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. При проведении исследований использованы шесть штаммов патогенов. Семена 47 сортов сои урожая 2020–2021 гг. были предоставлены сельскохозяйственными предприятиями из различных регионов России, включая Орловскую, Воронежскую и Рязанскую области, Ставропольский и Хабаровский края. Установлено, что все исследуемые сорта восприимчивы к инфекции, но степень поражения была весьма различной. Выявлены сорта с высокой устойчивостью и восприимчивостью. Наименее поражаемый сорт Соер 4 рекомендован для использования в селекционных программах в качестве источника устойчивости. Сорта Осмонь и Нордика, отличавшиеся чрезвычайно высокой степенью поражаемости, можно рекомендовать для проведения тестов на вирулентность и оценки патогенности штаммов бактерий.

Ключевые слова: соя, сорта сои, бактериальные болезни, *Pseudomonas savastanoi*, *Curtobacterium flaccumfaciens*, восприимчивость к болезням, степень поражения

Для цитирования: Тараканов Р. И., Джалилов Ф. С.-У. Сравнительная оценка устойчивости сортов сои к бактериальному ожогу и ржаво-буровой бактериальной пятнистости и увяданию // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 23–27. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-23-27>.

Original article

Comparative assessment of the resistance of soybean cultivars to bacterial blight and rusty-brown bacterial spot and wilting

Rashit I. Tarakanov¹, Fevzi S.-U. Dzhalilov²

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation, r.tarakanov@rgau-msha.ru

Abstract. The paper evaluates the resistance of soybean varieties to bacterial pathogens – *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* and *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. Six strains of pathogens were used in the work. Seeds of 47 soybean varieties harvested in 2020–2021 were provided by agricultural enterprises from various regions of Russia, including the Orel, Voronezh and Ryazan regions, Stavropol and Khabarovsk krai. It was found that all the studied varieties were susceptible to infection, but the degree of damage was very different. Varieties with high resistance and susceptibility have been identified. The least affected variety, Soer 4, is recommended for use in breeding as a source of resistance. Osmon and Nordica varieties, characterized by an extremely high degree of damage, can be recommended for conducting virulence tests and assessing the pathogenicity of bacterial strains.

Keywords: soybeans, soybeans varieties, bacterial diseases, *Pseudomonas savastanoi*, *Curtobacterium flaccumfaciens*, susceptibility to diseases, degree of damage

For citation: Tarakanov R. I., Dzhalilov F. S.-U. Comparative assessment of the resistance of soybean cultivars to bacterial blight and rusty-brown bacterial spot and wilting. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik.* 2025;19;3:23–27. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-23-27>.

Введение. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – важная сельскохозяйственная культура, широко используемая в пищевой, комбикормовой и перерабатывающей промышленности благодаря высокому содержанию масла и белка в семенах.

Выращивание сои в России в последние годы приобрело популярность как по агроэкономическим причинам, так и из-за необходимости обеспечения продовольственной безопасности. Однако с увеличением посевных площадей сои возрос и фитосанитарный риск, например, распространения бактериальных заболеваний, которые снижают урожайность и качество продукции.

Возбудитель бактериального ожога сои – грамотрицательная бактерия *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* (Psg), являющаяся одним из важнейших патогенов сои. Другим распространенным возбудителем выступает *Curtobacterium flaccidum* pv. *flaccidum* (Cff), вызывающая ржаво-бурую бактериальную пятнистость [1].

Эти заболевания могут снижать урожайность культуры до 40 %. Они широко распространены в различных регионах земного шара, в том числе в России, и представляют серьезную угрозу для агроценозов сои. Патогены могут передаваться через семенной материал и сохраняться в почве, что затрудняет борьбу с ними. Отсутствие эффективных методов химической защиты делает селекцию и использование устойчивых сортов единственным стабильным методом защиты от этой группы патогенов.

Выявление генетических источников устойчивости к патогенам представляется одной из основных задач современной селекции. Однако устойчивость сои к бактериальным заболеваниям, как правило, полигенная по своей природе и проявляется в виде количественных признаков, зависящих от генотипа растения, вирулентности штамма патогена и условий окружающей среды. В этой связи возникает необходимость в проведении полной оценки взаимодействия различных сортов

сои с большим количеством штаммов патогенов для последующего отбора наиболее перспективных генотипов [2].

Целью исследований явилась оценка степени поражения различных сортов сои, выращиваемых на территории России, при искусственном заражении патогенами *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* и *Curtobacterium flaccidum* pv. *flaccidum*.

Материалы и методы исследований. В данных исследованиях были использованы шесть патогенных штаммов: три Psg (CFBP 2214, G2, G17) и три Cff (CFBP 3418, C086, C089). Бактерии выращивали на среде King B при температуре 18 ± 2 °С в течение трех дней. Для заражения готовили суспензии в стерильной воде плотностью 108 КОЕ/мл с добавлением прилипителя Silvet Gold (0,01 %) в качестве вспомогательного вещества.

Семена 47 сортов сои урожая 2020–2021 гг. были предоставлены сельскохозяйственными предприятиями из различных регионов России, включая Орловскую, Воронежскую и Рязанскую области, Ставропольский и Хабаровский края. Хранение осуществляли в бумажных пакетах при температуре 4 °С в условиях ограниченного доступа света и влаги.

Эксперименты по оценке поражаемости проводили в условиях теплиц лаборатории защиты растений Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева в 2021 и 2022 гг.

Перед инокуляцией растения выращивали в пластиковых 0,5-литровых горшках с дерново-перлитовым субстратом при дневной и ночной температурах соответственно 25 и 20 °С, без внесения удобрений до достижения фазы V3. Орошение проводили дождеванием по мере необходимости.

Искусственное заражение проводили путем срезания листовой пластиинки ножницами, предварительно обработанными бактериальной суспензией, на глубину 1–2 см [3].

Влажность воздуха на уровне примерно 95 %, а также дневную и ночную температуры, составляющие 28 и 22 °С соответственно, поддерживали в течение двух дней до и одного дня после инокуляции. Ширину зоны проявления симптомов на листьях измеряли с помощью штангенциркуля через 12 дней после заражения. Эксперименты повторяли дважды.

Статистическая обработка данных включала дисперсионный анализ и тест Дункана для множественных сравнений. Статистическую обработку проводили в программе Statistica 10; графики построены в программе GraphPad Prism 9.2.0.

Результаты исследований и их обсуждение. Судя по результатам инокуляции, все исследуемые сорта были восприимчивы к инфекции, но степень поражения была весьма различной.

Минимальные значения размера поражения для штаммов Psg были показаны

у сорта Соер 4 (в среднем 0,61 мм), в то время как максимальные значения были обнаружены у сорта Осмона (в среднем 6,88 мм) (рис. 1). При инокуляции Cff наименьшее поражение также наблюдалось у сорта Соер 4 (0,46 мм), а наибольшее – у сорта Нордика (6,23 мм) (рис. 2).

Группировка по уровню восприимчивости показала, что большинство сортов относятся к категории наименее пораженных как Psg, так и Cff. С другой стороны, некоторые сорта по-разному реагировали на отдельные штаммы одного и того же патогена, что может свидетельствовать о специфической для штамма устойчивости.

Интерес представляет также явление опадения зараженных листьев у сортов Нордика, Опус и Максус на 21-й день после заражения. Такая реакция может быть проявлением гиперчувствительности, подобной той, которая наблюдается у других бактериальных болезней. Это

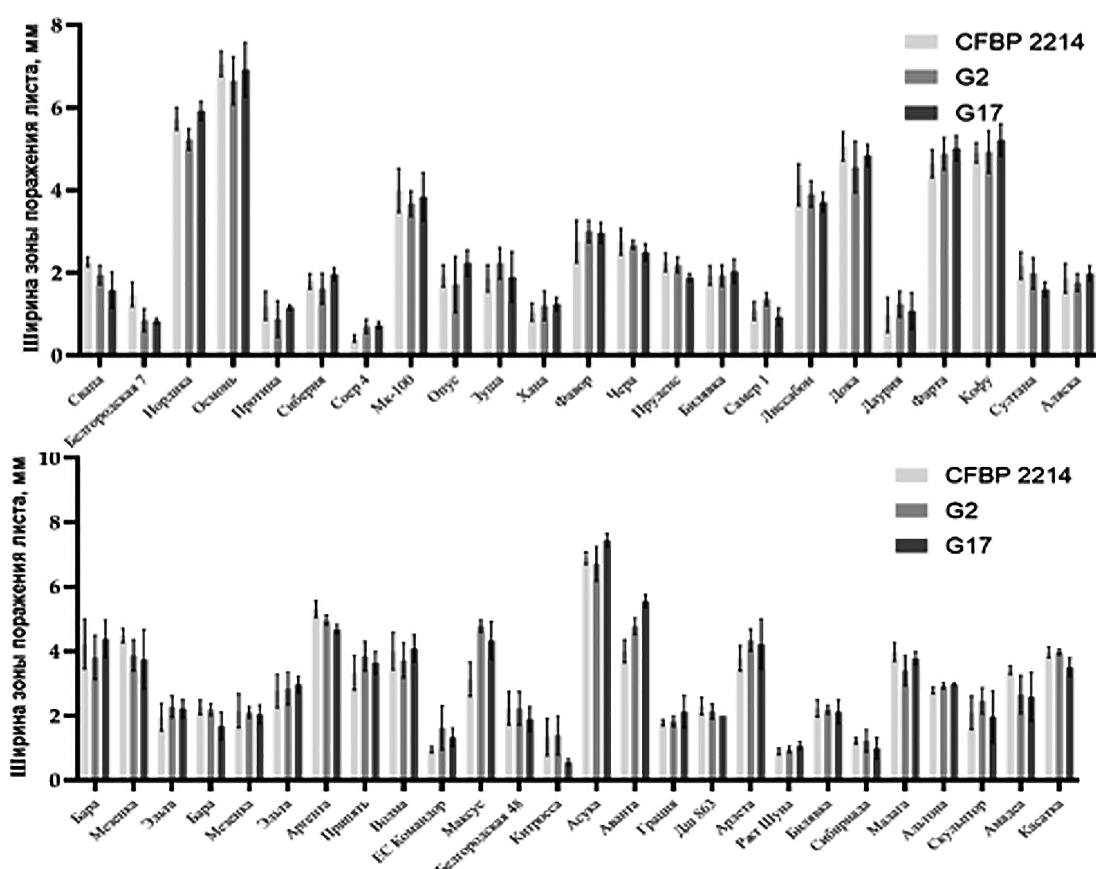


Рисунок 1 – Значения ширины зоны поражения листьев сортов сои при инокуляции ножницами, смоченными в суспензии разных штаммов Psg

Figure 1 – Values of the width of the affected area of soybean leaves during inoculation with scissors dipped in a suspension of different Psg strains

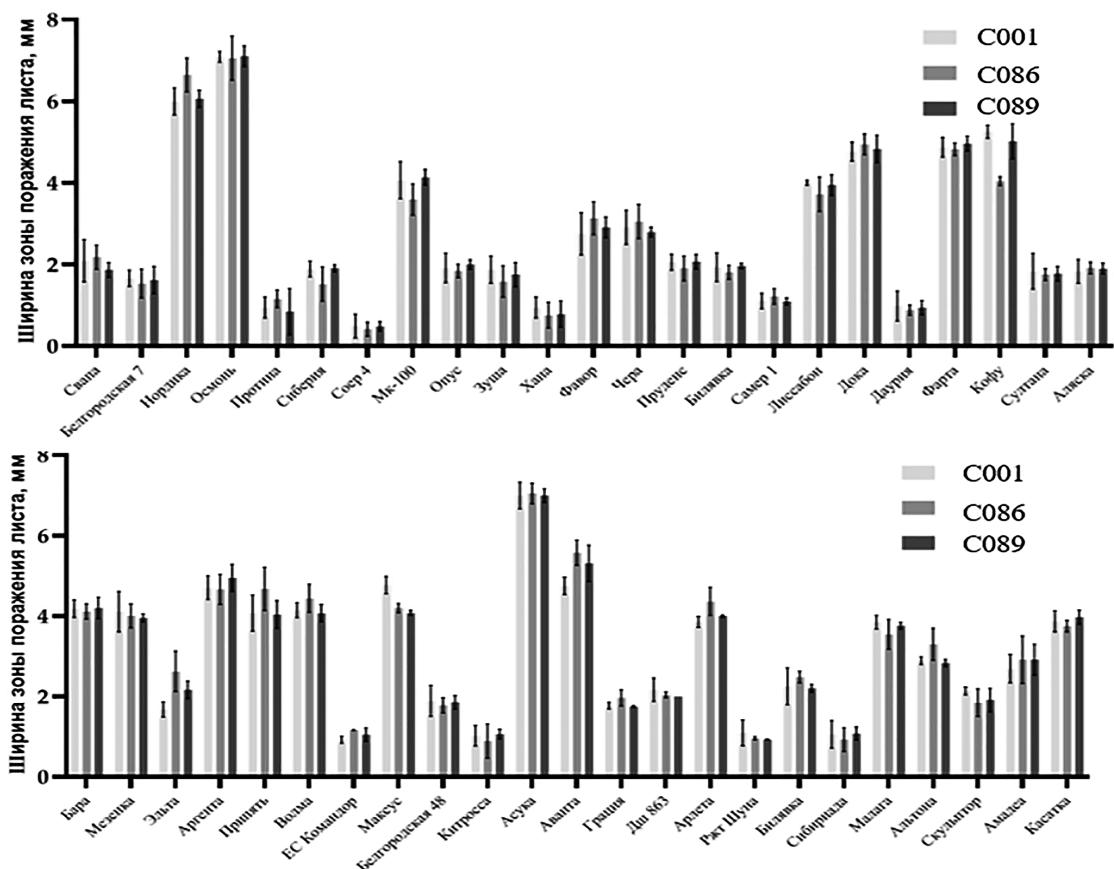


Рисунок 2 – Значения ширины зоны поражения листьев сортов сои при инокуляции ножницами, смоченными в суспензии разных штаммов Cff

Figure 2 – Values of the width of the affected area of soybean leaves during inoculation with scissors dipped in a suspension of different Cff strains

может свидетельствовать о наличии гена устойчивости R, способного распознавать бактериальный белок Avr, запуская каскад защитных реакций и ограничивая распространение инфекции [4].

Указанное предположение требует дальнейшего подтверждения и уточнения, поскольку описанное в результате исследований явление опадения зараженных листьев можно применить в селекционных программах по сое.

Заключение. Установлено, что сорт Соер 4 проявляет слабую восприимчивость к обоим возбудителям болезней и может быть рекомендован для использования в селекционных программах в качестве донора устойчивости.

Сорта Осмён и Нордика отличались чрезвычайно высокой степенью поражаемости и могут быть рекомендованы для проведения тестов на вирулентность и оценки патогенности штаммов бактерий.

Список источников

1. Hsieh T. F., Huang H. C., Erickson R. S. Bacterial wilt of common bean: Effect of seedborne inoculum on disease incidence and seedling vigour // Seed Science and Technology. 2006. No. 34. P. 57–67.
2. Sarkar S. F., Guttman D. S. Evolution of the core genome of *Pseudomonas syringae*, a highly clonal, endemic plant pathogen // Microbiology. 2004. No. 70. P. 1999–2012.
3. Salah Eddin K., Marimuthu T., Ladhalakshmi D., Rabindran R., Velazhahan R. A. Simple inoculation technique for evaluation of cotton genotypes for resistance to bacterial blight

caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* // Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 2005. No. 112. P. 321–328.

4. Mansfield J. W. From bacterial avirulence genes to effector functions via the *hrp* delivery system: an overview of 25 years of progress in our understanding of plant innate immunity // Molecular Plant Pathology. 2009. No. 10 (6). P. 721–734.

References

1. Hsieh T. F., Huang H. C., Erickson R. S. Bacterial wilt of common bean: Effect of seedborne inoculum on disease incidence and seedling vigour. Seed Science and Technology, 2006;34:57–67.
2. Sarkar S. F., Guttman D. S. Evolution of the core genome of *Pseudomonas syringae*, a highly clonal, endemic plant pathogen. Microbiology, 2004;70:1999–2012.
3. Salah Eddin K., Marimuthu T., Ladhalakshmi D., Rabindran R., Velazhahan R. A. Simple inoculation technique for evaluation of cotton genotypes for resistance to bacterial blight caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*. Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 2005;112:321–328.
4. Mansfield J. W. From bacterial avirulence genes to effector functions via the *hrp* delivery system: an overview of 25 years of progress in our understanding of plant innate immunity. Molecular Plant Pathology, 2009;10(6):721–734.

© Тараканов Р. И., Джалилов Ф. С.-У., 2025

Статья поступила в редакцию 04.07.2025; одобрена после рецензирования 15.08.2025; принята к публикации 02.09.2025.

The article was submitted 04.07.2025; approved after reviewing 15.08.2025; accepted for publication 02.09.2025.

Информация об авторах

Тараканов Рашит Исламович, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, r.tarakanov@rgau-msha.ru;

Джалилов Февзи Сейд-Умерович, доктор биологических наук, профессор, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева

Information about the authors

Rashit I. Tarakanov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, r.tarakanov@rgau-msha.ru;

Fevzi S.-U. Dzhaliilov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Обзорная статья

УДК 633.84:632.3

EDN UKQXFI

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-28-48>

Грибные инфекции сои: обзор открытых геномных коллекций и будущие перспективы молекулярной диагностики

Павел Дмитриевич Тимкин¹, Андрей Андреевич Пензин²

^{1, 2} Всероссийский научно-исследовательский институт сои

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ tpd@vniisoi.ru, ² paa@vniisoi.ru

Аннотация. Фитопатогенные грибы представляют серьезную угрозу для соевых культур, значительно снижая их урожайность и качество. Данная статья представляет детальный обзор текущего состояния геномных данных для основных фитопатогенов сои: *Cercospora sojina* Hara, *Cercospora kikuchii* (T. Matsuoka & Tomoy.) M. W. Gardner, *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. и *Septoria glycines* Hemmi. Анализируются имеющиеся в открытых источниках геномные сборки, их возможная применимость для разработки молекулярно-генетических диагностических тест-систем в Амурской области. Особое внимание уделяется сравнительным преимуществам и ограничениям различных методов молекулярной диагностики, таких как классическая и количественная ПЦР, изотермические методы амплификации (RPA, LAMP, NASBA, RCA) и комбинированные подходы с применением CRISPR/Cas-систем. Технология ПЦР предоставляет быстрые и точные результаты, но требует лабораторных условий, в то время как изотермические методы предлагают возможность диагностики в полевых условиях, однако требуют более сложный дизайн праймеров. Исследуется перспектива использования изотермических методов (LAMP и RPA), а также CRISPR/Cas, благодаря их высокой специфичности и чувствительности. Описанные методы дают возможность существенно улучшить точность и скорость диагностики, что критически важно для своевременного принятия мер по защите сои. Выявлены ключевые направления для дальнейших исследований, включая необходимость полногеномного секвенирования местных штаммов и развития специфичных молекулярных маркеров для повышения эффективности диагностики фитопатогенов.

Ключевые слова: грибные инфекции, соя, диагностика, изотермические амплификации, фитопатогены, геномика, CRISPR/Cas

Для цитирования: Тимкин П. Д., Пензин А. А. Грибные инфекции сои: обзор открытых геномных коллекций и будущие перспективы молекулярной диагностики // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 28–48. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-28-48>.

Review article

Soybean fungi: A review of open genomic collections and future prospects for molecular diagnostics

Pavel D. Timkin¹, Andrey A. Penzin²

^{1, 2} All-Russian Scientific Research Institute of Soybean

Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ tpd@vniisoi.ru, ² paa@vniisoi.ru

Abstract. Phytopathogenic fungi pose a serious threat to soybean crops, significantly reducing their yield and quality. This article provides a detailed review of the current status of genomic data for the major soybean phytopathogens: *Cercospora sojina*, *Cercospora kikuchii*, *Fusarium*

solani and *Septoria glycines*. The genomic assemblies available in open sources and their possible applicability for the development of molecular genetic diagnostic test systems in the Amur region of Russia are analyzed. Special attention is paid to the comparative advantages and limitations of different molecular diagnostic methods, such as classical and quantitative PCR, isothermal amplification methods (RPA, LAMP, NASBA, RCA) and combined approaches (CRISPR/Cas systems). PCR technology provides rapid and accurate results but requires laboratory conditions, while isothermal methods offer the possibility of field diagnostics but require more complex primer design. The prospect of using isothermal methods (LAMP, RPA), as well as CRISPR/Cas, is explored due to their high specificity and sensitivity. The described methods provide an opportunity to significantly improve the accuracy and speed of diagnostics, which is critical for timely adoption of soybean protection measures. Key directions for further research are identified, including the need for full genomic sequencing of local strains and the development of specific molecular markers to improve the efficiency of phytopathogen diagnostics.

Keywords: fungal infections, soybean, diagnostics, isothermal amplifications, phytopathogens, genomics, CRISPR/Cas

For citation: Timkin P. D., Penzin A. A. Soybean fungi: A review of open genomic collections and future prospects for molecular diagnostics. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:28–48. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-28-48>.

Введение. Грибные инфекции сои способны значительно снизить урожайность и качественные характеристики семян инфицированных растений, что, как следствие, приводит к серьезным экономическим потерям, снижая рентабельность производства данной культуры. Грибы повреждают как надземные, так и подземные части растения, вызывая загнивание корней, пожелтение и усыхание листьев. Вследствие этого соя становится более уязвимой к стрессовым условиям, таким как нехватка воды или питательных веществ, что дополнительно ухудшает ее здоровье и продуктивность. Кроме того, некоторые грибные патогены могут выделять токсичные вещества, что может повлиять на безопасность конечного продукта и вызвать проблемы для его применения в пищевой промышленности. Согласно зарубежным исследованиям, в регионах, где было зафиксировано распространение грибных заболеваний, наблюдался экономический ущерб производству сои, исчисляемый десятками миллиардов долларов [1–3].

В России грибные патогены встречаются повсеместно в местах выращивания сои – от западных регионов до Дальнего Востока, в том числе Приморского края и Амурской области [4, 5].

К основным грибным инфекциям в Амурской области относятся септориоз (*Septoria glycines* T. Hemmi. Syn.), церкоспороз (*Cercospora sojina* Hara), пурпурный церкоспороз (*Cercospora kikuchii*

(Matsuet Tomoyasu) Yarden) и фузариоз (*Fusarium solani* (Mart.) Sacc.) [6].

Распространение грибных болезней сои представляет собой сложный процесс, который начинается с заражения растений патогенными грибами через споры, переносимые ветром, дождем или насекомыми. Внешние факторы, такие как влажность, температура, устойчивость сорта и способы возделывания, играют ключевую роль в развитии инфекций. Патогены могут проникать в растения через естественные отверстия или повреждения листьев и корней. После заражения грибные инфекции начинают размножаться, что приводит к образованию колоний и выделению токсинов, способных разрушать клеточные структуры сои. Патогены также могут сохраняться в остатках растений или в почве в виде мицелия или спор, что способствует их дальнейшему распространению в последующих сезонах [7].

Септориоз – заболевание, вызываемое грибами рода *Septoria*, поражает в основном листья и бобы. Он проявляется в виде коричневых пятен, напоминающих ржавчину, на листьях растений, в связи с чем уменьшается их фотосинтезирующая площадь, что снижает общую продуктивность растения. При сильном поражении листья могут желтеть и опадать, что приводит к ухудшению качества и количества урожая [8, 9].

Церкоспороз, который вызывается грибами *Cercospora sojina* Hara, проявляется в виде мелких темно-коричневых пя-

тен, располагающихся на листьях растения. Пятна имеют характерную овальную форму и могут увеличиваться в размере, что приводит к потере площади фотосинтеза. Заболевание может существенно снизить урожайность семян, поскольку пораженные листья желтеют и преждевременно опадают. Также под действием патогена может происходить ухудшение качества семян, так как они снижают целостность и прочность семенной оболочки; в ходе нарушения барьерной функции семена могут быть подвержены другим заболеваниям. Отмечается, что патоген способен сохраняться в почве на остатках пораженных растений до двух лет, что демонстрирует его высокую жизнеспособность и значительно затрудняет борьбу с ним с помощью севооборота и обработки почвы [10–12].

Пурпурный церкоспороз, вызываемый патогеном *Cercospora kikuchii*, как и предыдущие патогены, поражает листья растений, что, в свою очередь, приводит к их преждевременному опаданию и значительному снижению продуктивности. Внешние проявления болезни характеризуются появлением пятен фиолетового и темно-коричневого цветов на листьях, что может уменьшить фотосинтетическую активность. Пораженные семена часто окрашиваются в темно-фиолетовый цвет, что обусловлено действием церкоспорина – токсина, вырабатываемого грибом. Церкоспорин может также нарушать физиологические процессы в растении, увеличивая восприимчивость к другим заболеваниям и стрессовым условиям [13, 14].

Фузариоз – болезнь, проявляющаяся в виде пожелтения и увядания листьев, гниения корней и стеблей, выделения капель влаги (экссудата) на поверхности побегов, а также образования розоватого или белого налета, что указывает на спороношение гриба. Вызывается грибом рода *Fusarium*, который легко распространяется через зараженные семена, почву и остатки растений. Помимо прочего, он способен продуцировать опасные метаболиты в семенах зерновых культур, такие как зеараленон и деоксиниваленол, которые представляют собой микотоксины, вызывающие серьезные последствия как у животных, так и у человека при поедании [15, 16].

Традиционные методы диагностики фитопатогенов сои включают визуальную оценку, микроскопическое исследование, выделение изолятов патогена на питательных средах и серологические тесты. Визуальная инспекция предполагает осмотр растений на наличие видимых симптомов заболеваний, таких как пятна на листьях или увядание. Микроскопия позволяет изучить структуру патогенов, однако требует высокого уровня квалификации. Изоляция подразумевает выделение патогена из пораженных тканей, что может занять значительное время и требует специального оборудования. Серологические тесты основаны на реакции антител к специфическим антигенам патогенов, что дает возможность быстрой и точной идентификации, но тесты могут быть дорогостоящими. Данные способы обеспечивают раннее обнаружение патогенов, однако они могут быть трудоемкими и требуют значительных ресурсов и опыта специалистов, что зачастую делает диагностику медленной и сложной.

К современным методам можно отнести применение классической и количественной ПЦР. Уже сейчас разработан и апробирован набор олигонуклеотидов для диагностики фитопатогенных грибов *C. sojina*, *C. kikuchii*, *F. solani*, *S. glycines*. Для детекции использовались ядерные, митохондриальные и ITS локусы, которые позволяли дифференцировать даже *C. sojina* и *C. kikuchii*. Аналогично для *F. solani* и *S. glycines* созданы диагностические наборы для детекции этих фитопатогенных грибов [17]. Применимость результатов мировых исследовательских групп в диагностике и идентификации амурских штаммов еще предстоит выяснить в ходе длительного тестирования. По всей видимости, наибольшую трудность вызовет апробация данных результатов на амурских штаммах *S. glycines*. В случае получения отрицательных результатов будет иметься необходимость в полногеномном секвенировании штаммов из амурских коллекций.

В рамках детекции фитопатогенных грибов исследователи уже давно рассматривают современные молекулярно-генетические технологии для их идентификации. Уже сейчас для целого ряда грибов разработаны и созданы современные мо-

лекулярно-генетические методы, которые включают рутинную ПЦР, дорогостоящее секвенирование нового поколения, ДНК-зонды, микрочипы и даже экспериментальные стратегии использования изотермических амплификаций [18].

Целью работы является обзор геномных данных грибов *C. sojina*, *C. kikuchii*, *F. solani* и *S. glycines*, а также возможность использования соответствующих результатов для создания современных диагностических тест-систем в целях идентификации представленных грибов в Амурской области.

Геномика *Cercospora sojina*, *Cercospora kikuchii*, *Septoria glycines* и *Fusarium solani* сои. В базе данных NCBI содержится информация о геномных сборках, аннотированных генах или о последовательностях ДНК. Для всех представленных в данной работе грибов, за исключением *S. glycines*, имеются геномные сборки и аннотированные гены (табл. 1).

Представленная в качестве референсного генома для *C. sojina* сборка "ASM2449921v1", полученная исследователями из Аргентины, является образцовой и может использоваться для сравнения с амурскими штаммами, паразитирующими на сое, так как источником выделения ее являлись листья сои. Однако географическая удаленность региона, откуда был получен данный штамм, может являться причиной большого количества генетических полиморфизмов, отличных от *C. sojina* в Амурской области.

С учетом географического разнообразия и полноты геномной сборки наиболее подходящим для решения задач детекции и идентификации подходит сборка "ASM429982v1", так как образцами для ее получения послужили штаммы из географически близкого региона Цзямысы в Китае (рис. 1). Другая геномная сборка "ASM253473v1" имеет менее конкретизированную локализацию из провинции Хэйлунцзян, что также географически близко к Амурской области. Кроме того, образцы были взяты с полей, а не из эталонных коллекций. Тем не менее целью данного исследования было изучение генов, вовлеченных в патогенетические механизмы. Первичные данные, полученные в данном исследовании, имеют глубокое покрытие, но у исследователей не было

цели достраивать геном. Возможно, представленные контиги могут пригодиться другим исследователям, которые смогут заниматься сборкой своих образцов, опираясь на эти данные [19, 20].

Другие же геномные сборки являются устаревшими, получены до 2018 г. включительно, имеют малую длину, недостаточный уровень готовности и удаленное географическое происхождение. К тому же цели и задачи у исследователей состояли не в получении полногеномной последовательности. Например, один из самых первых полученных результатов – это частичная сборка контигов размером более 60 кб, которые использовались для разработки 135 маркеров SNP [21].

Недостатками использования геномных сборок на *C. kikuchii* для создания молекулярно-генетических систем диагностики является то, что в базе данных не представлено результатов на уровне «завершено», что может внести затруднения в работу. Также используемые образцы для секвенирования имеют географически удаленное расположение от Амурской области. Однако референсная сборка была получена из коллекции Японского международного исследовательского центра сельскохозяйственных наук и имеет местное происхождение, что географически роднит *C. kikuchii* из Японии с амурскими штаммами. Несмотря на то, что референсный геном получен с географически близких штаммов, сама геномная сборка находится на уровне контигов, что может внести некоторые неудобства в работу с такими данными. Оставшиеся две геномные сборки были созданы на основе штаммов из США и Аргентины. Они были собраны до уровня «скаффолдов», но их удаленность от Дальнего Востока и Амурской области делает такие сборки малопригодными для использования в создании систем ПЦР детекции [22].

Анализ геномных данных для *Fusarium solani* осложняется тем, что все имеющиеся на данный момент сборки были получены из грибов, хозяином которых не являлась соя. Помимо того, любая работа будет усложняться географической удаленностью штаммов, геномы которых были секвенированы. То есть в данном случае можно столкнуться с проблемой, что географически удаленные штаммы,

Таблица 1 – Геномные сборки для модельных представителей фитопатогенов
Table 1 – Genomic assemblies for model representatives of phytopathogens

Id геномной сборки	Уровень сборки/длина сборки, Мб	Дата публикации	Технология секвенирования/метод сборки	Глубина покрытия	Географическое расположение
<i>C. sojina</i>					
ASM2449921v1	завершено/40,1	август, 2022 г.	Illumina/ GATK v. 4.1.0.0	150,0×	Аргентина: Венадо Туэрто, Санта-Фе
ASM429982v1	завершено/40,1	февраль, 2019 г.	PacBio RSII/ SMRT Link v. v5.0.1	150,0×	Китай: Цзямысы
ASM253473v1	контиг/40,8	октябрь, 2017 г.	PacBio/Canu	120,0×	Китай: Хэйлунцзян (образец с поля)
ASM343510v1	скаффолд/31,1	август, 2018 г.	Illumina; PacBio/ SPAdes v. 3.1	600,0×	США: Арканзас
ASM208428v1	контиг/29,9	апрель, 2017 г.	Illumina GA IIx/ Velvet v. 0.7	239,0×	США: Джорджия (образец с поля)
ASM215069v1	скаффолд/15,5	май, 2017 г.	Illumina/CLC Genomics v. 7.5.1	354,0×	США: Миссисипи
<i>C. kikuchii</i>					
Ck_assembly01	контиг/34,4	июль, 2021 г.	PacBio RSII/ canu v. 1.9	100,0×	Япония: Кагосима
UBA_Ckiku_1.0	скаффолд/33,2	октябрь, 2019 г.	Illumina NovaSeq/Celera Assembler v. 8.3	196,0×	Аргентина: Сан-Педро, Буэнос-Айрес
ASM535685v1	скаффолд/33,2	май, 2019 г.	IonTorrent/ SPAdes v. 3.2.1	42,0×	США: Индиана
<i>Fusarium solani</i>					
NDSU_Fsol_1.0	контиг/59,4	май, 2022 г.	Oxford Nanopore MinION/ NECAT v. 0.0.1	225,0×	США: округ Уилкин, штат Миннесота
ASM4043682v1	контиг/66,6	июль, 2024 г.	Illumina NovaSeq; PacBio Sequel/ HiFiasm v. 0.17.4-r455	31,0×	Китай: Гуйчжоу
ASM3308537v1	контиг/52,4	октябрь, 2023 г.	PacBio/ FALCON v. 0.3.0	89,0×	Китай: Гуанчжоу
ASM3577295v1	контиг/55,2	ноябрь, 2020 г.	Illumina HiSeq; PacBio Sequel/ SOAPdenovo v. 2.04; SSPACE v. 3.0	99,0×	Китай: Гуйчжоу
ASM3001412v1	контиг/66,6	май, 2023 г.	PacBio RSII; Illumina HiSeq/ FALCON v. 1.2.4; SPAdes v. 3.15.4	100,0×	Китай: Чанша
ASM221590v1	контиг/45,8	июль, 2017 г.	PacBio; Illumina HiSeq/ SOAPdenovo v. 2.04	460,0×	Южная Корея

Продолжение таблицы 1 (continuation of table 1)

Id геномной сборки	Уровень сборки/длина сборки, Мб	Дата публикации	Технология секвенирования/ метод сборки	Глубина покрытия	Географическое расположение
ASM1932001v1	контиг/51,8	июль, 2021 г.	PacBio RSII; Illumina HiSeq/ SOAPdenovo v. 2.04	430,0×	Китай: Фуцзянь
IISc_Fs_1.0	контиг/48,7	май, 2020 г.	Illumina NextSeq; Oxford Nanopore MinION/Newbler v. MAY-2018	175,6×	Индия: Карнатака
Fusarium solani Karbala-1	скаффолд/51,6	июль, 2022 г.	Illumina HiSeq/ Velvet v. 1.2.10	20,0×	Ирак
F_sol_A01-1	скаффолд/54,7	январь, 2023 г.	Illumina MiSeq/ SPAdes v. 3.15.4	34,7×	США: Калифорния
F2	скаффолд/55,2	март, 2023 г.	DNBSEQ/ SOAPdenovo v. 2.04	100,0×	Китай: Юньнань, Вэньшань
ASM2757464v1	скаффолд/53,8	январь, 2023 г.	Illumina NovaSeq/ SOAPdenovo v. 2.04; SPAdes v. 3.13.0; ABySS v. 2.1.5	100,0×	Китай: Пекин
Fusso1	контиг/52,9	ноябрь, 2021 г.	PacBio RSII/ Falcon v. 0.7.3	96,9×	нет данных

Примечания: 1. Геномные сборки представлены в порядке их размещения в базе NCBI.
2. Полужирным шрифтом выделены геномные сборки, доступные в данное время в качестве RefSeq (справочных) геномов данного вида.

к тому же эволюционно приспособившиеся к разным хозяевам, могут иметь различные механизмы вирулентности, а также минорные отличия в областях генома, которые могут быть использованы как для оценки вирулентности, так и для идентификации [23]. В нынешних условиях вопрос генетической изменчивости фитопатогенных грибов в зависимости от хозяина и разных ареалов обитания является еще малоизученным, и в контексте изучения амурских штаммов данного фитопатогена придется учитывать подобные особенности при создании идентификационных тест-систем.

Для *S. glycines* не имеется аннотированных генов или геномных сборок. В наличии один проект "PRJNA764246", представленный 95 файлами SRA (Sequence Read Archive) из раздела с первичными данными секвенирования и 53 последовательностями ДНК из раздела "Nucleotide". Однако этот проект нельзя воспринимать как достоверный источник информации о геноме *S. glycines*, так как его изначальная задача состояла в оценке микробиомного

сообщества на сое в процессе использования фунгицидов. Помимо инокулированного *S. Glycines*, в тех образцах также находились и другие фитопатогенные грибы [24]. На данный момент единственным релевантным источником информации о ДНК-последовательности *S. Glycines* являются данные из раздела "Nucleotide". Указанный раздел содержит информацию о первичной последовательности генов, отвечающих за синтез протеинов, встроенных в дыхательную цепь (нативные цитохромы и мутантные виды) [25], структурных компонентов цитоскелета (актин, бета-тубулин), а также различных фрагментах рРНК и кальмодулина [26].

Все представленные последовательности, ввиду своего эволюционного консерватизма, а также одновременно и ряду генетических полиморфизмов, могут служить удобными мишениями для проведения дифференциально-диагностических исследований. Впрочем, отсутствие представлений о геноме может составить проблему при проведении подобного рода экспериментов.

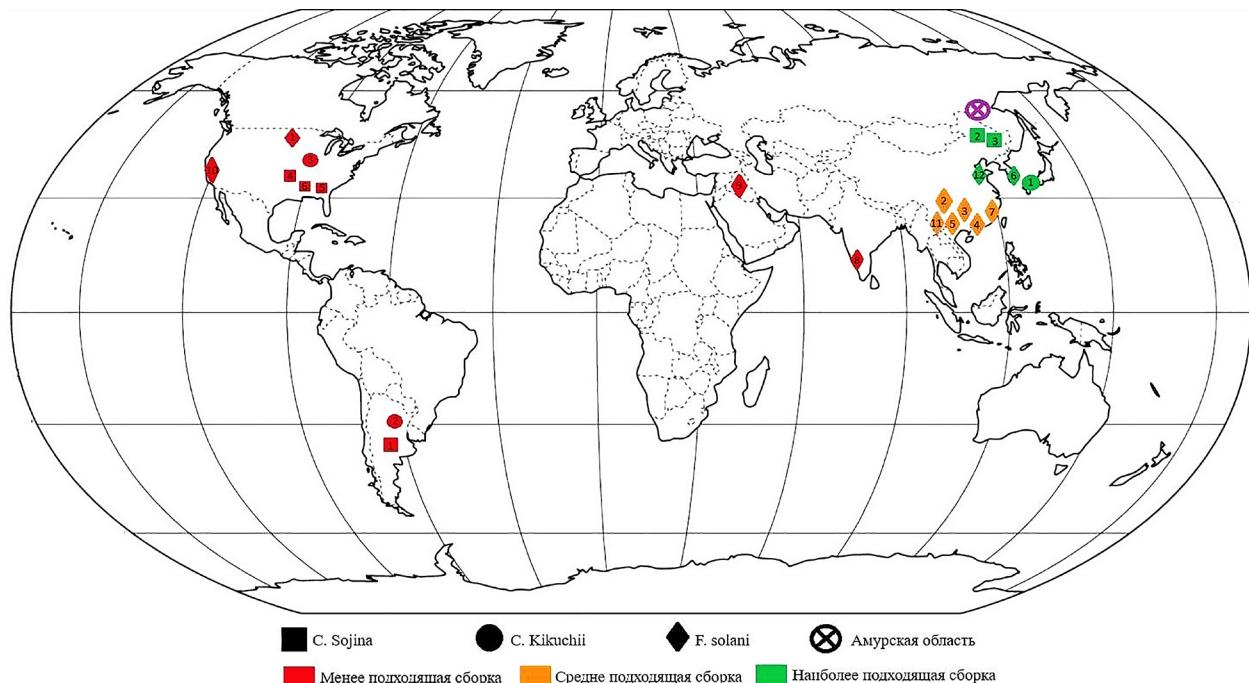


Рисунок 1 – Географическое расположение фитопатогенов, геномы которых были собраны

Figure 1 – Geographical location of phytopathogens from which genome assemblies were obtained

Перспективы интеграции молекулярно-генетической идентификации возбудителей церкоспороза, пурпурного церкоспороза, фузариоза и септориоза. Учитывая накопившийся объем знаний о факторах вирулентности фитопатогенных грибов и последовательностях, кодирующих их, появляются перспективы интеграции этих данных в технологии молекулярно-генетических идентификаций. Наличие геномных данных высокого качества позволяет создавать специфические олигонуклеотиды (праймеры, зонды, гРНК) для качественной детекции того или иного фитопатогена. Учитывая доступность геномных данных, близких по географическому расположению с Дальним Востоком России, можно будет использовать открытые сборки либо для создания специфичных олигонуклеотидов, либо для использования этих результатов в качестве референса при секвенировании местных штаммов. Собственные генетические данные позволяют упростить создание набора олигонуклеотидов для детекции.

На текущий период времени для создания диагностического набора с ис-

пользованием молекулярно-генетических технологий удобнее будет работать с открытыми геномными данными по *C. sojina*. Региональная близость анализируемого штамма, одинаковый хозяин (соя) и обилие геномных сборок в статусе «завершено» позволяют довольно быстро подобрать необходимое количество нуклеотидов как для классической ПЦР, так и для более современных технологий, таких как изотермические амплификации.

Геномные данные по *C. kikuchii* и *F. solani* могут создать ряд трудностей, ввиду незаконченности сборок, удаленности мест изъятия штаммов и даже наличия других хозяев. Это может привести к получению ложноположительных результатов. Больше всего трудностей может возникнуть при проведении подобных работ для *S. glycines*, в связи с отсутствием геномных сборок и возможностью использования данных только из «nucleotide». Гипотетически использование локусов, кодирующих различные эволюционно-консервативные белки (актин, тубулин, кальмодулин), а также некоторые рРНК, позволит создать достаточно

специфичный набор олигонуклеотидов для классической ПЦР.

Но использование таких последовательностей будет сопряжено с большой работой по нивелированию нецелевого эффекта для достижения достаточной селективности к желаемой матрице. К тому же такие условия потребуют дополнительной работы, чтобы набор позволял дифференцировать *S. glycines* от других организмов в случае забора материала с полей. Такие универсальные для многих грибов ДНК-последовательности явно будут непригодны для работы с технологией изотермической амплификации, ввиду вероятности гибридизации с другими грибами, что затруднит идентификацию.

Для решения этой проблемы необходимо полногеномное секвенирование амурских штаммов, а затем поиск основных факторов вирулентности, которые зачастую являются уникальными для каких-либо фитопатогенов, специальных областей внутри ITS (внутренний транскрибуируемый спайсер), фрагментов в рРНК или других конститутивных генов [27].

Изотермические амплификации и их модификации в молекулярно-генетической диагностике. Использование RPA для диагностики фитопатогенов. RPA (Recombinase polymerase amplification или рекомбиназная полимеразная амплификация) – это высокочувствительный и селективный изотермический метод амплификации, применяемый в изотермических условиях (при температуре 37–42 °C). Такие низкие температуры в данной технике обоснованы тем, что отжиг праймеров происходит не из-за температурного фактора, а ферментативно, посредством фермента рекомбиназы. Еще одной из особенностей RPA является длина праймеров, которая обычно составляет 30–35 нуклеотидов (есть отдельные свидетельства о 45 нуклеотидах). Также иногда используются праймеры с длиной для классической ПЦР [28]. Олигонуклеотиды длиннее 35 оснований зачастую приводят к повышению вероятности образования вторичных структур и шпилек, в то время как слишком короткие праймеры ведут к низкой селективности с матрицей в изотермических условиях [29, 30].

Технология RPA уже успешно апробирована на грибах рода *Phytophthora*. Ис-

следователи сообщают о высокой специфичности метода RPA для идентификации патогенных грибов в образцах растений, но отмечалась низкая чувствительность. Немаловажным остается факт применения этой технологии в полевых условиях, что обусловлено отсутствием требований к дорогостоящему лабораторному оборудованию (амплификатор) и низкому температурному оптимуму [31].

Данная диагностическая техника является весьма удобной и предпочтительной для адаптации ее к идентификации фитопатогенных грибов, описываемых в данной статье. Низкий температурный оптимум и незначительная погрешность при контаминации дают возможность использования в полевых условиях. Однако получение реактивов для проведения данной амплификации затруднено ввиду логистических проблем. Они вызваны тем, что компания TwistDx™, которая занимается производством реагентов для RPA, не поставляет их на территорию России.

LAMP (*Loop-mediated isothermal amplification* или петлевая изотермическая амплификация) – это высокоспецифичный метод амплификации нуклеиновых кислот, при котором набор из четырех или шести различных праймеров связывается с шестью или восемью различными областями целевого гена. Этот набор праймеров состоит из двух внешних праймеров (F3 и B3), двух внутренних праймеров (прямой внутренний праймер (FIP) и обратный внутренний праймер (BIP)) и двух петлевых праймеров (LF и LB) [32].

Данная технология и ее модификации (мультиплексная, количественная и другие) уже активно используются для полевой диагностики фитопатогенных грибов сельскохозяйственных культур. Например, для детекции фитопатогенных грибов пшеницы уже имеются положительные результаты. Детекция результатов LAMP в реальном времени, с помощью портативных амплификаторов, предоставляет возможность для проведения анализов в полевых условиях [33, 34].

LAMP активно тестируется для определения грибов рода *Phytophthora* на земляничных полях. Были сделаны выводы, что LAMP был наиболее чувствительным анализом из протестированных методов, будучи в 10 раз более чувствительным,

чем гнездовая ПЦР, и в 100 раз – по сравнению с ПЦР в реальном времени [35].

Есть опыт применения этой изотермической техники для дифференциации грибов *Fusarium oxysporum* и *Fusarium solani* на примере корневищ лотоса (*Nelumbo nucifera*). В качестве дополнительного контроля использовались образцы *F. solani*. Был достигнут положительный результат, позволяющий определять конкретный вид. При доработке уже представленных олигонуклеотидов возможно получится создать подобный комплект для определения *F. solani* [36].

Проведение данной методики сопряжено с рядом трудностей. В первую очередь, сложной задачей является дизайн и конструкция пар праймеров. Это достаточно сложная и нетривиальная задача, которая сильно отличается от конструкции олигонуклеотидов для классической ПЦР. Несмотря на то, что для дизайна праймеров к LAMP имеется специализированное программное обеспечение [37], как и для классической ПЦР, работа с ним имеет ряд трудностей и проблем, которые не позволяют интуитивно решить эту задачу. Помимо этого, в проведении LAMP имеется вероятность получения ложноположительных результатов из-за возможности гибридизации праймеров с нецелевой матрицей и даже друг с другом с образованием вторичных димеров [38, 39].

Учитывая доступность реактивов, обилие экспериментального опыта и данных по диагностике наиболее важных фитопатогенных грибов, а также техническую возможность к полевой реализации данной технологии, эта изотермическая техника и ее модификации выглядят наиболее перспективными для применения в Амурской области. Это позволит детектировать *C. sojina*, *C. kikuchii*, *S. glycine* и *F. solani* в полевых условиях. Дополнение имеющихся геномных сборок в базе данных NCBI результатами секвенирования амурских штаммов даст возможность быстрее создать корректный набор праймеров для проведения LAMP.

NASBA (*Nucleic Acid Sequence-Based Amplification*) – один из молекулярно-биологических методов изотермической amplификации нуклеиновых кислот, в частности РНК, также имеющий модификации и для амплификации на основе ДНК. Суть

метода состоит в образовании дуплекса кДНК:РНК путем гибридизации с целевой РНК комплементарного ДНК-праймера (прямого), лигированного с Т7-промотором, в котором далее посредством активности РНКазы Н идет разрушение РНК-цепи и образование второй цепи кДНК при помощи отжига ДНК-праймера (обратного) без Т7-промотора.

Фрагмент Т7-промотора, расположенный на конечной двухцепочечной кДНК, служит матрицей для транскрипционной активности ДНК-зависимой РНК-полимеразы Т7, приводящей к экспоненциальному накоплению молекул однокепочечной РНК [40]. Реакция проходит при постоянной температуре в диапазоне 40–55 °С. Детекция целевой нуклеиновой кислоты осуществляется по относительной флуоресценции, возникающей при гибридизации амплифицированной РНК с флуоресцентным зондом [41].

С практической точки зрения, данный метод является эффективным способом индикации и идентификации патогена в объекте *in situ*, когда степень поражения напрямую коррелирует с количеством патогенной РНК [42] или когда патоген является непосредственно РНК-содержащим [43].

В сельском хозяйстве, в частности при диагностике фитопатогенов вирусной и бактериальной природы, NASBA пока не обладает широкой распространностью из-за продолжительного и трудозатратного процесса предподготовки и осуществления гибридизации. Из всех предложенных научным сообществом протоколов действительно быстрым можно считать идентификацию вириуса цитрусовых *Xanthomonas citri*, предложенную в работе [43]. Также использование метода NASBA было апробировано при диагностике фитопатогенов яблони – вириода рубцов на коже яблока (ASSVd) [44], вириуса ямчатости древесины яблони [45]; картофеля – вириуса Y картофеля, *Fusarium roae* и *Ralstonia solanacearum* [46], а также других культур [47].

Эффективность данного метода детекции в полевых условиях зависит преимущественно от целесообразности и быстродействия выбранного способа детекции амплифицированных нуклеиновых кислот. В контексте данной проблематики

приоритет в разработке отдается не исключительно оптимизации протокола самой амплификации, как в случае с LAMP или RPA, а эффективному сочетанию NASBA с другими методами детекции, будь то гибридизационный зонд или более совершенная диагностическая система, основанная на флуоресценции имеющихся в нуклеиновой смеси репортеров (коротких олигонуклеотидов с флуоресцентной меткой и гасителем на разных его концах), дающих свечение при активации эндонуклеазной активности CRISPR/Cas-систем вместе с их направляющими ДНК/РНК.

По сравнению с аналогичными методами амплификации, использующими в качестве матрицы РНК (например, ОТ-ПЦР, RT-LAMP), метод NASBA не уступает по пороговой чувствительности (LOD, limit of detection) только ОТ-ПЦР. Однако чувствительность детекции в целом преимущественно зависит от качества подбора праймеров, оптимизации состава реакционной смеси и лишь, в конечном итоге, – от производительности самого метода [48].

В контексте практического применения NASBA для диагностики фитопатогенов сои грибной природы в Амурской области авторы считают его обоснованным в тех случаях, когда для диагностики важно количественное определение фитопатогена *in situ* в зараженных культурах, то есть, когда количественная оценка присутствия генетического материала (РНК) будет прямо коррелировать со степенью грибного поражения.

RCA (Rolling Circle Amplification). Среди методов изотермической амплификации является наименее популярным в диагностической практике. Суть метода состоит в амплификации длинного однократочечного фрагмента ДНК на матрице кольцевой ДНК с использованием полимеразы phi29 со свойством смещения цепи (strand displacement) [49].

Данный метод был успешно апробирован как в ряде работ по диагностике инфекций, вызванных грибами и бактериями родов *Trichophyton*, *Candida*, *Aspergillus*, *Scedosporium* и *Streptococcus* в клинической практике [50–52], так и в сельском хозяйстве на примере диагностики грибов *Neofabraea* и *Fusarium* [53, 54].

Система SHERLOCK. Двухкомпонентная тест-система, основанная на сочетании RPA с CRISPR/Cas12a, для диагностики грибов рода *Alternaria* [55]. Авторы заявляют о хорошей чувствительности метода, который позволяет детектировать патогенную ДНК без необходимости в дорогостоящем оборудовании и трудоемких процессах промывки и очистки проб.

Данный метод сохраняет все преимущества изотермических амплификаций как в непосредственном осуществлении эксперимента, так и при дизайне праймеров. Удобная комбинация RCA с другими изотермическими амплификациями и подходами для детекции может служить перспективной основой для будущей диагностики, в том числе и фитопатогенов сои.

CRISPR/Cas. В последнее время одним из наиболее перспективных способов количественной оценки амплифицированного генетического материала в образцах бактериальных, грибных и других культур стало использование систем CRISPR/Cas9, Cas12a/b или Cas13a и направляющих (гидовых) гРНК (в зарубежной литературе используется термин crRNA, CRISPR RNA) [56] в tandemе с изотермическими амплификациями LAMP [57], RPA [58], NASBA [59].

Как описывалось ранее, последние проявляют свою нуклеазную активность при гибридизации гРНК с комплементарным спайсерным участком, находящимся на целевом локусе (ампликоне), в результате чего Cas-белок связывается со вторичной структурой, находящейся на гРНК, что приводит к knock-out/knock-off (выключению) гена по одному из PAM-мотивов (Protospacer Adjacent Motif), специальному для данного белка. После активации Cas-белок начинает «нарезать» все имеющиеся в смеси нуклеотиды, одними из которых, кроме целевого дуплекса, являются так называемые репортеры – короткие одноклекулярные фрагменты, на концах которых присутствуют «гаситель» и «флуорофор», в результате чего появляется флуоресценция в разных спектрах, в зависимости от выбранного красителя, которую можно инструментально фиксировать с использованием амплификаторов с детекцией в режиме реального времени (количественно) или трансиллюминатора (качественно).

У данных систем есть ряд преимуществ. Во-первых, они имеют двухуровневый контроль специфичности, то есть при амплификации неспецифических продуктов (при использовании LAMP) или при недостаточной чувствительности детекции при малом количестве копий гена на первом этапе (при использовании RPA) детекция с использованием таких систем может компенсировать это за счет более специфичной гибридизации РНК с ампликоном. Во-вторых, не для всех видов изотермической амплификации пригодно использование интеркалирующих красителей, как, например, для NASBA (накапливается одноцепочечная РНК/ДНК), что делает данную систему более удобной в сравнении с классическими методами гибридизационных проб, где требуются значительные трудозатраты на подготовку и дизайн эксперимента.

В диагностике фитопатогенов сои уже имеется опыт использования комбинации различных изотермических амплификаций с CRISPR/Cas-системами для диагностики грибов рода *Diaporthe* (RPA и CRISPR/Cas12a) [60, 61], грибоподобных протистов рода *Phytophthora* (RPA и CRISPR/Cas12a, PCR и CRISPR/Cas12a, LAMP и CRISPR/Cas12a) [62, 63], что делает выбор данной стратегии для диагностики грибов *C. sojina*, *C. kikuchii*, *F. solani* в полевых условиях одной из наиболее удобных и перспективных для Амурской области и России в целом.

ДНК-микрочипы. Кроме классических методов амплификации и новых методов изотермической амплификации, в диагностике фитопатогенов существуют так называемые ДНК/РНК-микрочипы, являющиеся основой микроэррэй-анализа. Суть метода состоит в размещении на чипе (с кремниевой или гидрогелевой подложкой) коротких, меченных красителями зондов (олигонуклеотидов кДНК или кРНК), способных гибридизироваться с целевой ДНК/РНК и испускать свечение, детектируемое оборудованием [64].

Данный метод не требует наличия специфического оборудования, однако нуждается в дорогостоящем изготовлении микрочипов для анализа на заказ, а также в трудоемком дизайне кДНК-зондов. Несмотря на это, он является высокопроизводительным, поскольку способен

детектировать от нескольких десятков до нескольких миллионов различных локусов в исследуемой ДНК [65]. Такая черта является наиболее важной при потоковом скрининге, поскольку таким образом можно покрыть всю панель фитопатогенов, свойственную для той или иной культуры, особенно в тех случаях, когда нам неизвестна этиология инфекции и потенциальный ее возбудитель.

В сельскохозяйственной практике ДНК-микрочипы используются для детекции бактериальной и вирусной инфекции у риса [66], вирусной и вироидной инфекции у томата [67], а также в качестве универсальной диагностической микрочип-панели для диагностики наиболее распространенных возбудителей вирусной инфекции у сои, огурца, табака, гороха, цуккини, дыни и других культур [68].

ДНК- и РНК-секвенирование. Немаловажным и в то же время часто выходящим за рамки простой диагностики фитопатогенов в сельскохозяйственных культурах является классический метод метагеномного профилирования пораженных культур с использованием технологии высокопроизводительного ДНК- и РНК-секвенирования. Поскольку идентификация фитопатогенов данным методом основывается на прочтении всех нуклеиновых последовательностей в имеющемся материале, он позволяет генотипировать и фенотипировать фитопатогены без априорного знания об этиологии инфекции и ее возбудителе, а также исследовать метагеномное разнообразие и даже последствия поражения культуры, выраженные в измененной экспрессии генов самого растения [69]. Также данный метод раскрывает свою актуальность и в том случае, когда затруднительно выделение чистой нуклеиновой кислоты фитопатогена без РНК хоста (хозяина) (например, в случае вирусной инфекции) [70]. В биоинформационической практике также существуют готовые программные решения-протоколы (пайплайны), специально собранные для идентификации любых фитопатогенов на основе первичных данных РНК-секвенирования в любых сельскохозяйственных культурах [71, 72].

В рамках сельскохозяйственного применения имеется опыт идентификации фитопатогенов высокопроизводительным

секвенированием у сои [73], нута [74]; томата, дыни, клубники, стручкового перца и лимона [75].

Использование данного метода идентификации фитопатогенов сои на территории России, в том числе Амурской области, имеет перспективы не только в прикладном аспекте, но в том числе и в рамках фундаментальных научных исследований, а также аннотации фитопатогенетического разнообразия как возбудителей сои, так и других культур.

Заключение. Фитопатогенные грибы, поражающие сою, представляют серьезную угрозу для сельскохозяйственного производства, приводя к значительным экономическим потерям. Введение молекулярно-генетических методов диагностики в сельскохозяйственную практику предоставляет уникальные возможности для точного и быстрого выявления патогенов. Рассмотренные подходы дают возможность не только оперативно идентифицировать фитопатогены, но и следить за их изменчивостью, что особенно важно в условиях динамично изменяющейся экосистемы и растущего давления со стороны изменений климата и человеческой деятельности.

Геномика грибных патогенов открывает перспективы для разработки более точных и специфичных диагностических систем. Информация о генетическом разнообразии и специфических патогенетических механизмах позволяет корректно подбирать генетические маркеры для

идентификации. Однако текущие ограничения в геномных данных, особенно для *S. glycines*, указывают на необходимость дополнительных геномных исследований, включая полногеномное секвенирование амурских штаммов.

Изотермические методы амплификации, такие как LAMP и RPA, в сочетании с системами CRISPR/Cas, представляют собой наиболее перспективное направление для диагностики грибных патогенов сои в полевых условиях. Их высокая специфичность и чувствительность позволяют точно идентифицировать возбудителей даже в ограниченных ресурсных условиях, что особенно актуально для удаленных регионов, таких как Амурская область.

Внедрение молекулярно-генетических методов диагностики несет в себе потенциал значительно улучшить управление заболеваниями сои, повысив урожайность и качество продукции. Это требует междисциплинарного подхода, включающего совместные усилия генетиков, микробиологов и сельскохозяйственных специалистов, для претворения в жизнь этих передовых технологий.

Таким образом, несмотря на текущие вызовы и ограничения, рассматриваемые подходы открывают новые возможности для улучшения диагностики и контроля грибных заболеваний сои, которые могут стать важным компонентом устойчивого сельскохозяйственного производства в будущем.

Список источников

1. Bandara A. Y., Weerasooriya D. K., Bradley C. A., Allen T. W., Esker P. D. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades // PLOS ONE. 2020. Vol. 15. No. 4. P. e0231141. doi: 10.1371/journal.pone.0231141.
2. Bradley C. A., Allen T. C., Sisson A. J. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada from 2015–2019 // Plant Health Progress. 2021. No. 1. P. 483–495.
3. Hossain M. M., Sultana F., Yesmin L. Understanding *Phakopsora pachyrhizi* in soybean: comprehensive insights, threats, and interventions from the Asian perspective // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 14. P. 1304205. doi: 10.3389/fmicb.2023.1304205.
4. Лукомец В. М., Пивень В. Т., Кочегура А. В. Болезни, вредители и сорняки на посевах сои в Краснодарском крае и меры борьбы с ними // Масличные культуры. 2007. № 1 (136). С. 66–75. EDN JVYMXP.
5. Gomzhina M., Gasich E., Gannibal P. Cercospora species associated with soybean diseases in Russia // Mycological Progress. 2024. Vol. 23. doi: 10.1007/s11557-024-01960-6.

6. Кузьмин А. А. Особенности распространения заболеваний сои на территории Амурской области // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. № 2. С. 31–44. doi: 10.22450/19996837_2023_2_31. EDN YTZCMR.
7. Liu H. Response of soil fungal community structure to long-term continuous soybean cropping // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 9. doi: 10.3389/fmicb.2018.03316.
8. Compendium of soybean diseases and pests / ed. by G. L. Hartman, J. C. Rupe, E. J. Sikora. St. Paul, MN : APS Press, 2015.
9. Lin H.-A., Villamil M. B., Mideros S. X. Characterization of *Septoria* brown spot disease development and yield effects on soybean in Illinois // Canadian Journal of Plant Pathology. 2021. Vol. 43. P. 62-72. doi: 10.1080/07060661.2020.1755366.
10. Mian M. A. R., Boerma H. R., Phillips D. V. Performance of frogeye leaf spot-resistance and susceptible near-isolines of soybean // Plant Disease. 1998. Vol. 82. P. 1017–1021.
11. Cruz C. D., Dorrance A. E. Characterization and survival of *Cercospora sojina* in Ohio // Plant Health Progress. 2009. Vol. 10. P. 17. <https://doi.org/10.1094/PHP-2009-0512-03-RS>.
12. Barro J. P., Neves D. L., Del Ponte E. M. Frogeye leaf spot caused by *Cercospora sojina*: A review // Tropical Plant Pathology. 2023. Vol. 48. P. 363–374. doi: 10.1007/s40858-023-00583-8.
13. Daub M. E., Hangarter R. P. Light-induced production of singlet oxygen and superoxide by the fungal toxin, cercosporin // Plant Physiology. 1983. Vol. 73. P. 855–857. doi: 10.1104/pp.73.3.855.
14. Cai G., Schneider R. Population structure of *Cercospora kikuchii*, the causal agent of Cercospora leaf blight and Purple Seed Stain in soybean // Phytopathology. 2008. Vol. 98. P. 823–829. doi: 10.1094/PHYTO-98-7-0823.
15. Wrather J. A., Koenning S. R., Anderson T. R. Effect of diseases on soybean yields in the United States and Ontario (1999–2002) // Plant Health Progress. 2003. Vol. 4. No. 1. P. 24. doi: 10.1094/PHP-2003-0325-01-RV.
16. Antonissen G., Martel A., Pasman F. The impact of Fusarium mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases // Toxins. 2014. Vol. 6. P. 430–452. doi: 10.3390/toxins6020430.
17. Hosseini B., Voegele R. T., Link T. I. Diagnosis of soybean diseases caused by fungal and oomycete pathogens: Existing methods and new developments // Journal of Fungi. 2023. Vol. 9. No. 5. P. 587. doi: 10.3390/jof9050587.
18. Hariharan G., Prasannath K. Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: A mini review // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2021. Vol. 10. P. 600234. doi: 10.3389/fcimb.2020.600234.
19. Luo X. Genome sequencing and comparative genomics reveal the potential pathogenic mechanism of *Cercospora sojina* on soybean // DNA Research. 2018. Vol. 25. No. 1. P. 25–37. doi: 10.1093/dnares/dsx035.
20. Gu X. Comparative genomics and association analysis identifies virulence genes of *Cercospora sojina* in soybean // BMC Genomics. 2020. Vol. 21. No. 1. P. 172. doi: 10.1186/s12864-020-6581-5.
21. Shrestha S. K. Genetic diversity, QoI fungicide resistance, and mating type distribution of *Cercospora sojina* – Implications for the disease dynamics of frogeye leaf spot on soybean // PLOS One. 2017. Vol. 12. No. 5. P. e0177220. doi: 10.1371/journal.pone.0177220.
22. Kashiwa T., Suzuki T. High-quality genome assembly of the soybean fungal pathogen *Cercospora kikuchii* // G3 (Bethesda). 2021. Vol. 11. No. 10. doi: 10.1093/g3journal/jkab277.
23. Borah N., Albarouki E., Schirawski J. Comparative methods for molecular determination of host-specificity factors in plant-pathogenic fungi // International Journal of Molecular Sciences. 2018. Vol. 19. No. 3. P. 863. doi: 10.3390/ijms19030863.
24. Lin H.-A., Mideros S. X. The effect of *Septoria glycines* and fungicide application on the soybean phyllosphere mycobiome // Phytobiomes Journal. 2023. Vol. 7. No. 2. P. 220–232. doi: 10.1094/pbiomes-12-21-0075-r.

25. Neves D. L. Identification of *Septoria glycines* isolates from soybean with resistance to quinone outside inhibitor fungicides // Plant Disease. 2022. Vol. 106. No. 10. P. 2631–2637. doi: 10.1094/pdis-08-21-1836-re.
26. Verkley G. J. A new approach to species delimitation in *Septoria* // Studies in Mycology. 2013. Vol. 75. No. 1. P. 213–305. doi: 10.3114/sim0018.
27. Capote N., Pastrana A. M., Aguado A. Molecular tools for detection of plant pathogenic fungi and fungicide resistance // Plant Pathology. Intech Open, 2012. doi: 10.5772/38011.
28. Lobato I. M., O'Sullivan C. K. Recombinase polymerase amplification: Basics, applications and recent advances // Trends in Analytical Chemistry. 2018. Vol. 98. P. 19–35. doi: 10.1016/j.trac.2017.10.015.
29. Fuller S. L. Isothermal amplification and lateral-flow assay for detecting crown-gall-causing *Agrobacterium* spp. // Phytopathology. 2017. Vol. 107. No. 9. P. 1062–1068. doi: 10.1094/phyto-04-17-0144-r.
30. Wu L. Utilization of recombinase polymerase amplification combined with a lateral flow strip for detection of *Perkinsus beihaiensis* in the oyster *Crassostrea hongkongensis* // Parasites & Vectors. 2019. Vol. 12. No. 1. doi: 10.1186/s13071-019-3624-3.
31. Rojas J. A. Development and application of qPCR and RPA genus- and species-specific detection of *Phytophthora sojae* and *P. sansomeana* root rot pathogens of soybean // Plant Disease. 2017. Vol. 101. No. 7. P. 1171–1181. doi: 10.1094/pdis-09-16-1225-re.
32. Wong Y. P. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): a versatile technique for detection of micro-organisms // Journal of Applied Microbiology. 2018. Vol. 124. No. 3. P. 626–643. doi: 10.1111/jam.13647.
33. Yasuhara-Bell J. Specific detection of the wheat blast pathogen (*Magnaporthe oryzae Triticum*) by loop-mediated isothermal amplification // Plant Disease. 2018. Vol. 102. No. 12. P. 2550–2559. doi: 10.1094/PDIS-03-18-0512-RE.
34. Gomez-Gutierrez S. V., Goodwin S. B. Loop-mediated isothermal amplification for detection of plant pathogens in wheat (*Triticum aestivum*) // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. P. 857673. doi: 10.3389/fpls.2022.857673.
35. Siegieda D. G. "Shining a LAMP" (Loop-Mediated Isothermal Amplification) on the molecular detection of phytopathogens *Phytophthora* spp. and *Phytophthora cactorum* in strawberry fields // Pathogens. 2021. Vol. 10. No. 11. P. 1453. doi: 10.3390/pathogens10111453.
36. Deng S. LAMP assay for distinguishing *Fusarium oxysporum* and *Fusarium commune* in lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizomes // Plant Disease. 2022. Vol. 106. No. 1. P. 231–246. doi: 10.1094/pdis-06-21-1223-re.
37. Akhmetzianov L. U. Computer program for primer design for Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) // Advanced Engineering Research. 2024. Vol. 24. No. 1. P. 98–108. doi: 10.23947/2687-1653-2024-24-1-98-108.
38. Becherer L. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) – review and classification of methods for sequence-specific detection // Analytical Methods. 2020. Vol. 12. No. 6. P. 717–746. doi: 10.1039/c9ay02246e.
39. Garafutdinov R. R. LAMP amplification of nucleic acids. I. Two decades of development and improvement // Biomics. 2021. Vol. 13. No. 2. P. 176–226. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-14.
40. Hamza I. A., Bibby K. Critical issues in application of molecular methods to environmental virology // Journal of Virological Methods. 2019. No. 1. doi: 10.1016/j.jviromet.2019.01.008.
41. Myra N. W. Nucleic acid sequence-based amplification (NASBA) detection of medically important *Candida* species // Journal of Microbiological Methods. 1999. Vol. 38. No. 1–2. P. 1–90. doi: 10.1016/s0167-7012(99)00079-2.
42. Widjojoatmodjo M. N., van Gennip H. G., de Smit A. J., Moormann R. J. Comparative sequence analysis of classical swine fever virus isolates from the epizootic in the Netherlands in 1997–1998 // Veterinary Microbiology. 1999. Vol. 66. No. 4. P. 291–299. doi: 10.1016/s0378-1135(99)00017-6.

43. Scuderi G., Golmohammadi M., Cubero J., López M. M., Cirvilleri G., Llop P. Development of a simplified NASBA protocol for detecting viable cells of the citrus pathogen *Xanthomonas citri* subsp. *citri* under different treatments // Plant Pathology. 2010. Vol. 59. P. 764–772. doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02305.x.
44. Heo S. Development of a quantitative real-time nucleic acid sequence based amplification (NASBA) assay for early detection of apple scar skin viroid // Plant Pathology Journal. 2019. Vol. 35. No. 2. P. 164–171. doi: 10.5423/PPJ.OA.10.2018.0206.
45. Klerks M. M. Rapid and sensitive detection of apple stem pitting virus in apple trees through RNA amplification and probing with fluorescent molecular beacons // Phytopathology. 2001. Vol. 91. No. 11. P. 1085–1091. doi: 10.1094/phyto.2001.91.11.1085.
46. Szemes M., Schoen C. D. Design of molecular beacons for AmpliDet RNA assay – characterization of binding stability and probe specificity // Analytical Biochemistry. 2003. Vol. 315. No. 2. P. 189–201. doi: 10.1016/s0003-2697(02)00692-9.
47. Vaškóvá D. Real-time NASBA for detection of strawberry vein banding virus // European Journal of Plant Pathology. 2004. Vol. 110. No. 2. P. 213–221. doi: 10.1023/b:ejpp.0000015378.27255.12.
48. Zeinoddini M. Comparison between RT-PCR, NASBA and RT-LAMP methods for detection of Coxsackievirus B3 // Biomacromolecular Journal. 2017. Vol. 3. No. 2. P. 100–106.
49. Garafutdinov R. R. Rolling circle amplification as a universal method for the analysis of a wide range of biological targets // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2021. Vol. 47. P. 1172–1189. doi: 10.1134/S1068162021060078.
50. Zhou X. Practical method for detection and identification of *Candida*, *Aspergillus*, and *Scedosporium* spp. by use of rolling-circle amplification // Journal of Clinical Microbiology. 2008. Vol. 46. No. 7. P. 2423–2427. doi: 10.1128/jcm.00420-08.
51. Kong F. Rapid identification and differentiation of *Trichophyton* species, based on sequence polymorphisms of the ribosomal internal transcribed spacer regions, by rolling-circle amplification // Journal of Clinical Microbiology. 2008. Vol. 46. No. 4. P. 1192–1199. doi: 10.1128/JCM.02235-07.
52. Tong Z. A practical method for subtyping of *Streptococcus agalactiae* serotype III, of human origin, using rolling circle amplification // Journal of Microbiological Methods. 2007. Vol. 70. No. 1. P. 1–44. doi: 10.1016/j.mimet.2007.03.010.
53. Lin H. Molecular identification of *Neofabraea* species associated with bull's eye rot on apple using rolling-circle amplification of partial EF-1 α sequence // Canadian Journal of Microbiology. 2017. Vol. 64. No. 1. P. 57–68. doi: 10.1139/cjm-2017-0448.
54. Davari M. Rapid identification of *Fusarium graminearum* species complex using rolling circle amplification (RCA) // Journal of Microbiological Methods. 2012. Vol. 89. No. 1. P. 1–70. doi: 10.1016/j.mimet.2012.01.017.
55. Liu Y. SHERLOCK system // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2023. Vol. 71. No. 11. P. 4736–4744. doi: 10.1021/acs.jafc.2c07965.
56. Курбатов Л. К. Применение системы Detectr для селективного детектирования бактериального фитопатогена *Dickeya solani* с использованием рекомбинантной CRISPR-нуклеазы Cas12a, полученной методом одностадийной хроматографической очистки // Прикладная биохимия и микробиология. 2024. Т. 60. № 1. С. 20–28. doi: 10.31857/S0555109924010025.
57. Shi Y. CRISPR/Cas12a-Enhanced loop-mediated isothermal amplification for the visual detection of *Shigella flexneri* // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022. Vol. 10. P. 845688. doi: 10.3389/fbioe.2022.845688.
58. Zhou Z. A multiplex RPA coupled with CRISPR-Cas12a system for rapid and cost-effective identification of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 15. P. 1359976. doi: 10.3389/fmicb.2024.1359976.
59. Mao Z. CRISPR/CAS13A analysis based on NASBA amplification for norovirus detection // Talanta. 2024. Vol. 280. P. 126725. doi: 10.1016/j.talanta.2024.126725.

60. Sun X. Rapid and sensitive detection of two fungal pathogens in soybeans using the recombinase polymerase amplification/CRISPR-Cas12a method for potential on-site disease diagnosis // Pest Management Science. 2023. Vol. 80. No. 3. P. 1168–1181. doi: 10.1002/ps.7847.
61. Xu X. Molecular detection of *Phytophthora cinnamomi* by RPA-CRISPR/Cas12a mediated isothermal amplification // Forests. 2024. Vol. 15. P. 772. doi: 10.3390/f15050772.
62. Guo Y. RPA-CRISPR/Cas12a mediated isothermal amplification for visual detection of *Phytophthora sojae* // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2023. Vol. 13. P. 1208837. doi: 10.3389/fcimb.2023.1208837.
63. Dong J. Comparative evaluation of PCR-Based, LAMP and RPA-CRISPR/Cas12a assays for the rapid detection of *Diaporthe aspalathii* // International Journal of Molecular Sciences. 2024. Vol. 25. No. 11. P. 5773. doi: 10.3390/ijms25115773.
64. Leinberger D. M. Development of a DNA microarray for detection and identification of fungal pathogens involved in invasive mycoses // Journal of Clinical Microbiology. 2005. Vol. 43. No. 10. P. 4943–4953. doi: 10.1128/JCM.43.10.4943-4953.2005.
65. Li D. DNA microarrays // Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics. 2008. No. 1. P. 391–396. doi: 10.1007/978-0-387-48998-8_350.
66. Krawczyk K. DNA microarray-based detection and identification of bacterial and viral pathogens of maize // Journal of Plant Diseases and Protection. 2017. Vol. 124. No. 6. P. 577–583. doi: 10.1007/s41348-017-0098-4.
67. Tiberini A., Barba M. Optimization and improvement of oligonucleotide microarray-based detection of tomato viruses and pospiviroids // Journal of Virological Methods. 2012. Vol. 185. No. 1. P. 43–51. doi: 10.1016/j.jviromet.2012.05.028.
68. Nam M. Development of the large-scale oligonucleotide chip for the diagnosis of plant viruses and its practical use // Plant Pathology Journal. 2014. Vol. 30. No. 1. P. 51–57. doi: 10.5423/PPJ.OA.08.2013.0084.
69. Hao K. RNA-seq analysis of the response of plant-pathogenic oomycete *Phytophthora parasitica* to the fungicide dimethomorph // Revista Argentina de Microbiología. 2019. Vol. 51. No. 3. P. 268–277. doi: 10.1016/j.ram.2018.08.007.
70. Haegeman A. Looking beyond virus detection in RNA sequencing data: Lessons learned from a community-based effort to detect cellular plant pathogens and pests // Plants. 2023. Vol. 12. No. 11. P. 2139. doi: 10.3390/plants12112139.
71. Elmore M., Groves C., Hajimorad M. Detection and discovery of plant viruses in soybean by metagenomic sequencing // Virology Journal. 2022. Vol. 19. No. 1. P. 149. doi: 10.1186/s12985-022-01872-5.
72. Hu X. PhytoPipe: a phytosanitary pipeline for plant pathogen detection and diagnosis using RNA-seq data // BMC Bioinformatics. 2023. Vol. 24. P. 470. doi: 10.1186/s12859-023-05589-2.
73. Liebhoff A. M. Pathogen detection in RNA-seq data with Pathonoia // BMC Bioinformatics. 2023. Vol. 24. P. 53. doi: 10.1186/s12859-023-05144-z.
74. Fondevilla S. In planta identification of putative pathogenicity factors from the chickpea pathogen *Ascochyta rabiei* by de novo transcriptome sequencing using RNA-Seq and massive analysis of cDNA ends // Frontiers in Microbiology. 2015. Vol. 6. P. 1329. doi: 10.3389/fmicb.2015.01329.
75. Chalupowicz L. Diagnosis of plant diseases using Nanopore sequencing platform // Plant Pathology. 2018. Vol. 68. No. 2. doi: 10.1111/ppa.12957.

References

1. Bandara A. Y., Weerasooriya D. K., Bradley C. A., Allen T. W., Esker P. D. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. PLOS ONE, 2020;15;4:e0231141. doi: 10.1371/journal.pone.0231141.
2. Bradley C. A., Allen T. C., Sisson A. J. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada from 2015–2019. Plant Health Progress, 2021;1:483–495.

3. Hossain M. M., Sultana F., Yesmin L. Understanding *Phakopsora pachyrhizi* in soybean: comprehensive insights, threats, and interventions from the Asian perspective. *Frontiers in Microbiology*, 2024;14:1304205. doi: 10.3389/fmicb.2023.1304205.
4. Lukomets V. M., Piven V. T., Kochegura A. V. Diseases, pests and weeds on soybean crops in the Krasnodar Territory and measures to control them. *Maslichnye kul'tury*, 2007;1(136): 66–75. EDN JVYMXP (in Russ.).
5. Gomzhina M., Gasich E., Gannibal P. Cercospora species associated with soybean diseases in Russia. *Mycological Progress*, 2024;23. doi: 10.1007/s11557-024-01960-6.
6. Kuzmin A. A. Features of the spread of soybean diseases in the Amur region. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2023;2:31–44. doi: 10.22450/19996837_2023_2_31. EDN YTZCMR (in Russ.).
7. Liu H. Response of soil fungal community structure to long-term continuous soybean cropping. *Frontiers in Microbiology*, 2019;9. doi: 10.3389/fmicb.2018.03316.
8. Hartman G. L., Rupe J. C., Sikora E. J. (Eds.). *Compendium of soybean diseases and pests*, St. Paul, MN, APS Press, 2015.
9. Lin H.-A., Villamil M. B., Mideros S. X. Characterization of *Septoria brown spot* disease development and yield effects on soybean in Illinois. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2021; 43:62–72. doi: 10.1080/07060661.2020.1755366.
10. Mian M. A. R., Boerma H. R., Phillips D. V. Performance of frogeye leaf spot-resistance and susceptible near-isolines of soybean. *Plant Disease*, 1998;82:1017–1021.
11. Cruz C. D., Dorrance A. E. Characterization and survival of *Cercospora sojina* in Ohio. *Plant Health Progress*, 2009;10:17. <https://doi.org/10.1094/PHP-2009-0512-03-RS>.
12. Barro J. P., Neves D. L., Del Ponte E. M. Frogeye leaf spot caused by *Cercospora sojina*: A review. *Tropical Plant Pathology*, 2023;48:363–374. doi: 10.1007/s40858-023-00583-8.
13. Daub M. E., Hangarter R. P. Light-induced production of singlet oxygen and superoxide by the fungal toxin, cercosporin. *Plant Physiology*, 1983;73:855–857. doi: 10.1104/pp.73.3.855.
14. Cai G., Schneider R. Population structure of *Cercospora kikuchii*, the causal agent of Cercospora leaf blight and Purple Seed Stain in soybean. *Phytopathology*, 2008;98:823–829. doi: 10.1094/PHYTO-98-7-0823.
15. Wrather J. A., Koenning S. R., Anderson T. R. Effect of diseases on soybean yields in the United States and Ontario (1999–2002). *Plant Health Progress*, 2003;4;1:24. doi: 10.1094/PHP-2003-0325-01-RV.
16. Antonissen G., Martel A., Pasmans F. The impact of Fusarium mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases. *Toxins*, 2014;6:430–452. doi: 10.3390/toxins6020430.
17. Hosseini B., Voegele R. T., Link T. I. Diagnosis of soybean diseases caused by fungal and oomycete pathogens: Existing methods and new developments. *Journal of Fungi*, 2023;9;5: 587. doi: 10.3390/jof9050587.
18. Hariharan G., Prasannath K. Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: A mini review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2021;10:600234. doi: 10.3389/fcimb.2020.600234.
19. Luo X. Genome sequencing and comparative genomics reveal the potential pathogenic mechanism of *Cercospora sojina* on soybean. *DNA Research*, 2018;25;1:25–37. doi: 10.1093/dnaregs/dsx035.
20. Gu X. Comparative genomics and association analysis identifies virulence genes of *Cercospora sojina* in soybean. *BMC Genomics*, 2020;21;1:172. doi: 10.1186/s12864-020-6581-5.
21. Shrestha S. K. Genetic diversity, QoI fungicide resistance, and mating type distribution of *Cercospora sojina* – Implications for the disease dynamics of frogeye leaf spot on soybean. *PLOS One*, 2017;12;5:e0177220. doi: 10.1371/journal.pone.0177220.
22. Kashiwa T., Suzuki T. High-quality genome assembly of the soybean fungal pathogen *Cercospora kikuchii*. *G3 (Bethesda)*, 2021;11;10. doi: 10.1093/g3journal/jkab277.

23. Borah N., Albarouki E., Schirawski J. Comparative methods for molecular determination of host-specificity factors in plant-pathogenic fungi. International Journal of Molecular Sciences, 2018;19;3:863. doi: 10.3390/ijms19030863.
24. Lin H.-A., Mideros S. X. The effect of *Septoria glycines* and fungicide application on the soybean phyllosphere mycobiome. Phytobiomes Journal, 2023;7;2:220–232. doi: 10.1094/pbiomes-12-21-0075-r.
25. Neves D. L. Identification of *Septoria glycines* isolates from soybean with resistance to quinone outside inhibitor fungicides. Plant Disease, 2022;106;10:2631–2637. doi: 10.1094/pdis-08-21-1836-re.
26. Verkley G. J. A new approach to species delimitation in *Septoria*. Studies in Mycology, 2013;75;1:213–305. doi: 10.3114/sim0018.
27. Capote N., Pastrana A. M., Aguado A. Molecular tools for detection of plant pathogenic fungi and fungicide resistance. In.: Plant Pathology, Intech Open, 2012. doi: 10.5772/38011.
28. Lobato I. M., O'Sullivan C. K. Recombinase polymerase amplification: Basics, applications and recent advances. Trends in Analytical Chemistry, 2018;98:19–35. doi: 10.1016/j.trac.2017.10.015.
29. Fuller S. L. Isothermal amplification and lateral-flow assay for detecting crown-gall-causing *Agrobacterium* spp. Phytopathology, 2017;107;9:1062–1068. doi: 10.1094/phyto-04-17-0144-r.
30. Wu L. Utilization of recombinase polymerase amplification combined with a lateral flow strip for detection of *Perkinsus beihaiensis* in the oyster *Crassostrea hongkongensis*. Parasites & Vectors, 2019;12;1. doi: 10.1186/s13071-019-3624-3.
31. Rojas J. A. Development and application of qPCR and RPA genus- and species-specific detection of *Phytophthora sojae* and *P. sansomeana* root rot pathogens of soybean. Plant Disease, 2017;101;7:1171–1181. doi: 10.1094/pdis-09-16-1225-re.
32. Wong Y. P. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): a versatile technique for detection of micro-organisms. Journal of Applied Microbiology, 2018;124;3:626–643. doi: 10.1111/jam.13647.
33. Yasuhara-Bell J. Specific detection of the wheat blast pathogen (*Magnaporthe oryzae Triticum*) by loop-mediated isothermal amplification. Plant Disease, 2018;102;12:2550–2559. doi: 10.1094/PDIS-03-18-0512-RE.
34. Gomez-Gutierrez S. V., Goodwin S. B. Loop-mediated isothermal amplification for detection of plant pathogens in wheat (*Triticum aestivum*). Frontiers in Plant Science, 2022;13: 857673. doi: 10.3389/fpls.2022.857673.
35. Siegieda D. G. "Shining a LAMP" (Loop-Mediated Isothermal Amplification) on the molecular detection of phytopathogens *Phytophthora* spp. and *Phytophthora cactorum* in strawberry fields. Pathogens, 2021;10;11:1453. doi: 10.3390/pathogens10111453.
36. Deng S. LAMP assay for distinguishing *Fusarium oxysporum* and *Fusarium commune* in lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizomes. Plant Disease, 2022;106;1:231–246. doi: 10.1094/pdis-06-21-1223-re.
37. Akhmetzianov L. U. Computer program for primer design for Loop-mediated isothermal amplification (LAMP). Advanced Engineering Research, 2024;24;1:98–108. doi: 10.23947/2687-1653-2024-24-1-98-108.
38. Becherer L. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) – review and classification of methods for sequence-specific detection. Analytical Methods, 2020;12;6:717–746. doi: 10.1039/c9ay02246e.
39. Garafutdinov R. R. LAMP amplification of nucleic acids. I. Two decades of development and improvement. Biomics, 2021;13;2:176–226. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-14.
40. Hamza I. A., Bibby K. Critical issues in application of molecular methods to environmental virology. Journal of Virological Methods, 2019;1. doi: 10.1016/j.jviromet.2019.01.008.

41. Myra N. W. Nucleic acid sequence-based amplification (NASBA) detection of medically important *Candida* species. *Journal of Microbiological Methods*, 1999;38;1–2:1–90. doi: 10.1016/s0167-7012(99)00079-2.
42. Widjojoatmodjo M. N., van Gennip H. G., de Smit A. J., Moormann R. J. Comparative sequence analysis of classical swine fever virus isolates from the epizootic in the Netherlands in 1997–1998. *Veterinary Microbiology*, 1999;66;4:291–299. doi: 10.1016/s0378-1135(99)00017-6.
43. Scuderi G., Golmohammadi M., Cubero J., López M. M., Cirvilleri G., Llop P. Development of a simplified NASBA protocol for detecting viable cells of the citrus pathogen *Xanthomonas citri* subsp. *citri* under different treatments. *Plant Pathology*, 2010;59:764–772. doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02305.x.
44. Heo S. Development of a quantitative real-time nucleic acid sequence based amplification (NASBA) assay for early detection of apple scar skin viroid. *Plant Pathology Journal*, 2019;35;2: 164–171. doi: 10.5423/PPJ.OA.10.2018.0206.
45. Klerks M. M. Rapid and sensitive detection of apple stem pitting virus in apple trees through RNA amplification and probing with fluorescent molecular beacons. *Phytopathology*, 2001;91;11:1085–1091. doi: 10.1094/phyto.2001.91.11.1085.
46. Szemes M., Schoen C. D. Design of molecular beacons for AmpliDet RNA assay – characterization of binding stability and probe specificity. *Analytical Biochemistry*, 2003;315;2: 189–201. doi: 10.1016/s0003-2697(02)00692-9.
47. Vaškóvá D. Real-time NASBA for detection of strawberry vein banding virus. *European Journal of Plant Pathology*, 2004;110;2:213–221. doi: 10.1023/b:ejpp.0000015378.27255.12.
48. Zeinoddini M. Comparison between RT-PCR, NASBA and RT-LAMP methods for detection of Coxsackievirus B3. *Biomacromolecular Journal*, 2017;3;2:100–106.
49. Garafutdinov R. R. Rolling circle amplification as a universal method for the analysis of a wide range of biological targets. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2021;47:1172–1189. doi: 10.1134/S1068162021060078.
50. Zhou X. Practical method for detection and identification of *Candida*, *Aspergillus*, and *Scedosporium* spp. by use of rolling-circle amplification. *Journal of Clinical Microbiology*, 2008; 46;7:2423–2427. doi: 10.1128/jcm.00420-08.
51. Kong F. Rapid identification and differentiation of *Trichophyton* species, based on sequence polymorphisms of the ribosomal internal transcribed spacer regions, by rolling-circle amplification. *Journal of Clinical Microbiology*, 2008;46;4:1192–1199. doi: 10.1128/JCM.02235-07.
52. Tong Z. A practical method for subtyping of *Streptococcus agalactiae* serotype III, of human origin, using rolling circle amplification. *Journal of Microbiological Methods*, 2007;70;1: 1–44. doi: 10.1016/j.mimet.2007.03.010.
53. Lin H. Molecular identification of *Neofabraea* species associated with bull's eye rot on apple using rolling-circle amplification of partial EF-1 α sequence. *Canadian Journal of Microbiology*, 2017;64;1:57–68. doi: 10.1139/cjm-2017-0448.
54. Davari M. Rapid identification of *Fusarium graminearum* species complex using rolling circle amplification (RCA). *Journal of Microbiological Methods*, 2012;89;1:1–70. doi: 10.1016/j.mimet.2012.01.017.
55. Liu Y. SHERLOCK system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023;71;11: 4736–4744. doi: 10.1021/acs.jafc.2c07965.
56. Kurbatov L. K. Application of the Detectr system for the selective detection of the bacterial phytopathogen *Dickeya solani* using recombinant CRISPR nuclease Cas12a, obtained by single-stage chromatographic purification. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2024;60;1: 20–28. doi: 10.31857/S0555109924010025 (in Russ.).
57. Shi Y. CRISPR/Cas12a-Enhanced loop-mediated isothermal amplification for the visual detection of *Shigella flexneri*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2022;10:845688. doi: 10.3389/fbioe.2022.845688.
58. Zhou Z. A multiplex RPA coupled with CRISPR-Cas12a system for rapid and cost-effective identification of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Frontiers in Microbiology*, 2024; 15:1359976. doi: 10.3389/fmicb.2024.1359976.

59. Mao Z. CRISPR/CAS13A analysis based on NASBA amplification for norovirus detection. *Talanta*, 2024;280:126725. doi: 10.1016/j.talanta.2024.126725.
60. Sun X. Rapid and sensitive detection of two fungal pathogens in soybeans using the recombinase polymerase amplification/CRISPR-Cas12a method for potential on-site disease diagnosis. *Pest Management Science*, 2023;80;3:1168–1181. doi: 10.1002/ps.7847.
61. Xu X. Molecular detection of *Phytophthora cinnamomi* by RPA-CRISPR/Cas12a mediated isothermal amplification. *Forests*, 2024;15:772. doi: 10.3390/f15050772.
62. Guo Y. RPA-CRISPR/Cas12a mediated isothermal amplification for visual detection of *Phytophthora sojae*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2023;13:1208837. doi: 10.3389/fcimb.2023.1208837.
63. Dong J. Comparative evaluation of PCR-Based, LAMP and RPA-CRISPR/Cas12a assays for the rapid detection of *Diaporthe aspalathi*. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024;25;11:5773. doi: 10.3390/ijms25115773.
64. Leinberger D. M. Development of a DNA microarray for detection and identification of fungal pathogens involved in invasive mycoses. *Journal of Clinical Microbiology*, 2005;43;10: 4943–4953. doi: 10.1128/JCM.43.10.4943-4953.2005.
65. Li D. DNA microarrays. *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*, 2008;1:391–396. doi: 10.1007/978-0-387-48998-8_350.
66. Krawczyk K. DNA microarray-based detection and identification of bacterial and viral pathogens of maize. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2017;124;6:577–583. doi: 10.1007/s41348-017-0098-4.
67. Tiberini A., Barba M. Optimization and improvement of oligonucleotide microarray-based detection of tomato viruses and pospiviroids. *Journal of Virological Methods*, 2012;185;1: 43–51. doi: 10.1016/j.jviromet.2012.05.028.
68. Nam M. Development of the large-scale oligonucleotide chip for the diagnosis of plant viruses and its practical use. *Plant Pathology Journal*, 2014;30;1:51–57. doi: 10.5423/PPJ.OA.08.2013.0084.
69. Hao K. RNA-seq analysis of the response of plant-pathogenic oomycete *Phytophthora parasitica* to the fungicide dimethomorph. *Revista Argentina de Microbiología*, 2019;51;3:268–277. doi: 10.1016/j.ram.2018.08.007.
70. Haegeman A. Looking beyond virus detection in RNA sequencing data: Lessons learned from a community-based effort to detect cellular plant pathogens and pests. *Plants*, 2023;12;11: 2139. doi: 10.3390/plants12112139.
71. Elmore M., Groves C., Hajimorad M. Detection and discovery of plant viruses in soybean by metagenomic sequencing. *Virology Journal*, 2022;19;1:149. doi: 10.1186/s12985-022-01872-5.
72. Hu X. PhytoPipe: a phytosanitary pipeline for plant pathogen detection and diagnosis using RNA-seq data. *BMC Bioinformatics*, 2023;24:470. doi: 10.1186/s12859-023-05589-2.
73. Liebhoff A. M. Pathogen detection in RNA-seq data with Pathonoia. *BMC Bioinformatics*, 2023;24:53. doi: 10.1186/s12859-023-05144-z.
74. Fondevilla S. In planta identification of putative pathogenicity factors from the chickpea pathogen *Ascochyta rabiei* by de novo transcriptome sequencing using RNA-Seq and massive analysis of cDNA ends. *Frontiers in Microbiology*, 2015;6:1329. doi: 10.3389/fmicb.2015.01329.
75. Chalupowicz L. Diagnosis of plant diseases using Nanopore sequencing platform. *Plant Pathology*, 2018;68:2. doi: 10.1111/ppa.12957.

© Тимкин П. Д., Пензин А. А., 2025

Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 15.09.2025.

Информация об авторах

Тимкин Павел Дмитриевич, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, ORCID: 0000-0001-6655-1049, Author ID: 1163926, tpd@vniisoi.ru;

Пензин Андрей Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, заведующий лабораторией биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, ORCID: 0000-0002-8578-9818, Author ID: 1065486, paa@vniisoi.ru

Information about the authors

Pavel D. Timkin, Junior Researcher of the Biotechnology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, ORCID: 0000-0001-6655-1049, Author ID: 1163926, tpd@vniisoi.ru;

Andrey A. Penzin, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Head of the Biotechnology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, ORCID: 0000-0002-8578-9818, Author ID: 1065486, paa@vniisoi.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ**ANIMAL BREEDING AND VETERINARY**

Научная статья

УДК 636.3:591.132

EDN RWWYDH

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-49-55>

Роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои

Светлана Владимировна Карамушкина

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия, sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты хронического физиологического эксперимента по изучению роли инфузорий в метаболизме продуктов переработки сои. Использование fistульных технологий позволяет получить фундаментальные знания о процессах микробной ферментации соевого белка. Даётся сравнительный анализ численности инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости овец при введении в рацион соевых бобов, соевого шрота, фуражи и соевого жмыха. На основании исследования показателей белкового обмена, таких как общий азот и мочевина, сделаны выводы об эффективности метаболизма соевых протеинов в рубце жвачных животных.

Ключевые слова: инфузории, рубцовое пищеварение, продукты переработки сои, метаболизм белков, мочевина, общий азот

Для цитирования: Карамушкина С. В. Роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 49–55.
<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-49-55>.

Original article

The role of sheep rumen ciliates in the metabolism of soybean processing products

Svetlana V. Karamushkina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation, sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a chronic physiological experiment studying the role of ciliates in the metabolism of soybean processing products. The use of fistula technologies allows us to obtain fundamental knowledge about the processes of microbial fermentation of soybean protein. A comparative analysis of the number of ciliates in 1 ml of rumen fluid of sheep is given when soybeans, soybean meal, fodder and soybean meal are introduced into the diet. Based on the study of protein metabolism indicators, such as total nitrogen and urea, conclusions are made about the efficiency of soybean protein metabolism in the rumen of ruminants.

Keywords: infusoria, rumen digestion, soybean processing products, protein metabolism, urea, total nitrogen

For citation: Karamushkina S. V. The role of sheep rumen ciliates in the metabolism of soybean processing products. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:49–55. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-49-55>.

Введение. Содержание большого количества трудноперевариваемых и антипитательных веществ в продуктах переработки сои ограничивает возможность применения данного кормового ресурса для моногастрических животных [1–3]. Однако для овец, как модельных жвачных животных, биодоступность питательных веществ, содержащихся в соевых продуктах, относительно высока в результате предварительной обработки кормовых масс в рубце [4–6].

Соевые белки, такие как глицинин и β -конглицинин, имеют сложную структуру, устойчивы к ферментам желудка, но чувствительны к микробным протеазам. Инфузории, благодаря цистeinовым протеазам, эффективно расщепляют эти белки до пептидов. Исследование в Animal Feed Science and Technology (2018) показало, что ферментированный соевый шрот обеспечивает рост активности инфузорий на 25 %, что связано с частичной деградацией антипитательных веществ [7].

Инфузории рубца овец, включая виды *Entodinium*, *Diplodinium* и *Epidinium*, за счет активного фагоцитоза преобразуют растительный белок в более доступные формы, которые, в свою очередь, ферментируются бактериями рубца. Внутри простейших белки расщепляются протеазами (например, цистeinовыми и аспартатными) до пептидов и аминокислот [8, 9]. Так же за счет *Epidinium* происходит более глубокий распад аминокислот (аргинин и лизин), что способствует образованию аммиака в рубце [10].

Используя малодоступный для организма животных соевый белок, инфузории преобразуют его в полноценный белок своего тела, который переваривается и усваивается в кишечнике жвачных. Ре-

зультаты проведенного исследования [11] показали, что такие виды инфузорий, как *Entodinium*, вносят до 40 % в общий синтез микробного белка в рубце овец, особенно при использовании белковых кормов, в частности соевого шрота.

Цель работы – исследовать роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои.

Методика исследований. В основе исследований лежит хронический физиологический эксперимент с применением fistулированных животных, который позволяет получать рубцовую жидкость и исследовать инфузории в экосистеме рубца как едином целом, не исключая влияния всех факторов организма животного на рубцовое пищеварение.

Опыт проводили в период с ноября 2024 г. по февраль 2025 г. на базе кафедры физиологии, этологии и биохимии животных Российской государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева. Эксперименты с использованием животных выполнялись с учетом требований гуманного к ним отношения с применением седативных и обезболивающих средств и были утверждены протоколом № 29 от 17.11.2024 г. комиссии по биоэтике соответствующего образовательного учреждения.

Исследования проводили методом групп периодов со следующими кормовыми добавками: соя, фураж, шрот, жмых.

В контрольный период овцы в качестве основного рациона получали 2 кг сена и 500 г комбикорма ОК-80. В опытные периоды животным в рацион вводились различные соевые продукты в количестве 30 % от массы концентрированного корма (табл. 1). Между опытными перио-

Таблица 1 – Питательность белкового компонента экспериментальных кормов
Table 1 – Nutritional value of the protein component of experimental feeds

Экспериментальные компоненты рациона	Зоотехнический анализ	
	сырой протеин, %	переваримый протеин, г
Комбикорм ОК-80	13,5	114,4
Соевый шрот	43,9	400,0
Соевый фураж	16,1	129,2
Нативные бобы сои	34,6	281,2
Соевый жмых	40,2	384,1

дами животные находились на основном рационе в течение 10 дней.

Рубцовое содержимое получали у овец через хроническую фистулу. Об интенсивности рубцового пищеварения судили по количественному содержанию инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости, собранной натощак (после 12-часового голодания) на 1 и 5 дни экспериментального периода. Также исследовали pH и количество мочевины, являющейся метаболитом белкового компонента корма.

Подсчет числа инфузорий выполнялся с использованием камеры Горяева в 100 больших квадратах с последующим пересчетом этих данных на 1 мл рубцового содержимого.

Количество мочевины в рубцовой жидкости определяли, используя полуавтоматический биохимический анализатор BS-3000M (Sinnowa, Китай), с применением наборов биохимических реагентов для ветеринарии ДиаВетТест (Диавет, Россия). Измерение массовой доли общего азота проводили по методу Кельдаля.

Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с помощью программы Microsoft Excel. Для статистической оценки полученных результатов использовался *t*-критерий Стьюдента. Результаты считались достоверно значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследований. Замена части рациона овец на соевые продукты

влияет на количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости (табл. 2).

Анализируя данные, можно отметить, что количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости овец на 5 день экспериментального периода увеличилось по сравнению с первым днем при добавлении соевых бобов на 29,6%; соевого фураж – на 20,7%; соевого шрота – на 39,8% и соевого жмыха – на 42,8%. При сравнении опытных периодов с контролем также наблюдаем достоверное увеличение количества инфузорий на 5 день эксперимента при замене части рациона на соевые бобы на 25,9%; соевый шрот – на 42,1%; соевый фураж – на 38,6%. Вместе с тем при введении в рацион соевого фуража достоверной разницы с контрольным периодом не наблюдается.

Изменение количественного состава инфузорий, в свою очередь, отражается на интенсивности метаболизма соевых белков в полости рубца. Для оценки интенсивности протеолитического эффекта простейших проведем сравнительный анализ метаболитов белкового обмена в рубцовой жидкости овец при использовании экспериментальных соевых продуктов.

По данным рисунка 1, повышение концентрации общего азота в рубце по сравнению с контрольным периодом при добавлении в рацион соевых продуктов составило: соевых бобов в 2,6 раза; соевого фураж в 1,7 раза; соевого шрота в 3,1 раза и соевого жмыха в 2,9 раза. При

Таблица 2 – Количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Table 2 – The number of infusoria in 1 ml of sheep rumen fluid when soybean products are introduced into the diet

Тысяч единиц в одном миллилитре (thousands of units per milliliter)

Экспериментальные периоды	Количество инфузорий	
	на первый день опытного периода	на пятый день опытного периода
Контрольный (комбикорм ОК-80)	173,3±16,72	315,0±12,48*
Первый опытный (соевые бобы)	279,2±20,07	396,7±10,33**
Второй опытный (соевый фураж)	291,7±22,07	352,2±13,48*
Третий опытный (соевый шрот)	320,0±34,41	447,5±25,36**
Четвертый опытный (соевый жмых)	305,7±18,74	436,7±21,88**

* $p < 0,05$ – уровень достоверности при сравнении с первым днем экспериментального периода; ** – по сравнению с контрольным периодом.

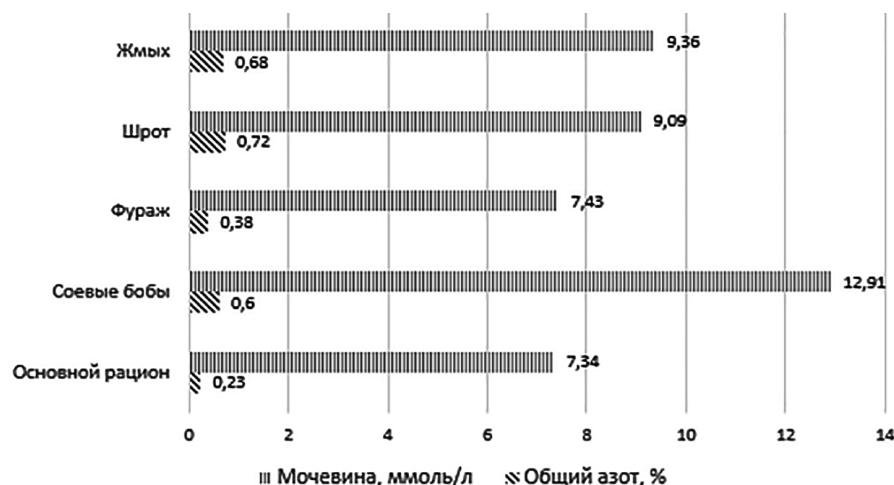


Рисунок 1 – Показатели метаболизма белка в рубцовой жидкости овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Figure 1 – Indicators of protein metabolism in sheep rumen fluid when soybean products are introduced into the diet

этом концентрация мочевины достоверно повышается по сравнению с основным рационом при введении в рацион соевых бобов на 76 %; соевого шрота на 24 % и соевого жмыха на 27 %.

Обсуждение результатов. Способность овец переваривать и усваивать продукты переработки сои обусловлена изменением общего числа инфузорий в рубцовой жидкости. Наиболее интенсивный рост числа инфузорий наблюдается при введении в рацион соевого шрота и соевого жмыха – до $447,5 \pm 25,36$ и $436,7 \pm 21,88$ тысяч в 1 мл соответственно. Эти показатели полностью соотносятся с содержанием в данных кормах сырого и переваримого протеина (табл. 1) – основного источника питательных веществ для простейших [12–14].

Интенсивность роста количества простейших при введении в рацион термически необработанных нативных соевых бобов понижается на 13 %, а соевого фуража на 27 % по сравнению с соевым шротом. Данный факт подтверждает влияние предварительной обработки соевых продуктов на интенсивность синтеза микробного белка в рубце жвачных [15, 16].

Эффективность метаболизма соевых белков характеризуется изменением концентрации общего азота и мочевины в преджелудках овец. Наиболее высокий уровень мочевины наблюдается при введении в рацион нативных соевых бобов (по сравнению с контрольным периодом

в 1,8 раза) (рис. 1). Столь высокое содержание мочевины указывает на увеличение деградации соевого белка и процессов дезаминирования при участии инфузорий, тогда как содержание общего азота при замене концентратной части рациона на нативные соевые бобы не имеет достоверной разницы по сравнению с соевым шротом и жмыхом. Можно предположить, что в первом опытном периоде процессы ферментации превалируют над процессами синтеза микробного белка (табл. 2) и большая часть мочевины остается в рубцовой жидкости в свободном виде [17].

При введении в рацион соевого шрота и жмыха уровень мочевины незначительно повышается по сравнению с контролем – на 24 и 25 % соответственно, а концентрация общего азота выше, чем при основном рационе, в 2,13 раза. Такое соотношение показателей белкового метаболизма говорит об интенсивном использовании мочевины для микробного синтеза и подтверждается данными других исследователей [18].

Заключение. При введении в рацион продуктов переработки сои наиболее эффективно метаболизируются термически обработанные соевые продукты, такие как соевый шрот и соевый жмых. Это характеризуется относительно невысоким содержанием мочевины в рубцовой жидкости овец при значительном росте количества инфузорий и концентрации общего азота.

Список источников

1. Ниязов Н. С. А. Исследование влияния добавки экструдированной сои на эффективность использования корма у свиней // Проблемы биологии продуктивных животных. 2024. № 3. С. 88–99. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.3.88-99. EDN LMJOJS.
2. Цугленок Н. В., Матюшев В. В., Цугленок Г. И., Хохлова А. И. Результаты исследований по инактивации антипитательных веществ в сое // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 5 (68). С. 394–397. EDN ОYCIHT.
3. Дежаткина С. В., Феоктистова Н. А., Шаронина Н. В., Исайчев В. А., Дежаткин М. Е., Григорьев В. С. Пути повышения качества продукции животноводства за счет скармливания натуральной БУМВД // Аграрная наука. 2022. № 2. С. 37–42. doi: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-37-42. EDN VQWVCP.
4. Габаев М. С., Жашуев Ж. Х., Бербекова Н. В., Отарова Р. М. Эффективность использования кормовой сои и сенажа люцернового в молочном скотоводстве // Аграрный вестник Урала. 2014. № 10 (128). С. 41–43. EDN SXRGCX.
5. Павлова М. В., Боголюбова Н. В., Романов В. Н. Биохимический статус крови и рубца овец при использовании новой формы бетаина // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023. № 7. С. 6–13. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202307001. EDN IQESKL.
6. Карамушкина С. В., Вадько А. В. Перспективы использования отходов производства сои в овцеводстве // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2021. С. 52–55. EDN HDIAIH.
7. Wang H. Effects of fermented soybean meal on rumen fermentation and microbial communities in sheep // Animal Feed Science and Technology. 2018. Vol. 243. P. 1–9. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.06.008.
8. Харитонов Е. Л., Березин А. С. Процессы рубцового пищеварения у бычков в периоды выращивания и откорма при разном уровне обменного протеина в рационе // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 4. С. 64–72. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.4.64-72. EDN YZOSWW.
9. Fondevila M., Dehority B. A. *In vitro* digestion of bacterial and protozoal cell walls by *Entodinium caudatum* // Applied and Environmental Microbiology. 2000. Vol. 66. Iss. 4. P. 1696–1701. doi: 10.1128/AEM.66.4.1696-1701.2000.
10. Newbold C. J. Rumen microbial ecosystem and nitrogen metabolism // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98. Iss. 3. P. 1501–1512. doi: 10.3168/jds.2014-8792.
11. Belanche A. Rumen microbial communities influence metabolic phenotypes in lambs // Journal of Animal Science. 2020. Vol. 98. Iss. 4. P. 74. doi: 10.1093/jas/skaa074.
12. Zhang J., Wu X., Zhang C., Hao X., Yu S., Mu C., Zhao J. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep // Animal. 2020. No. 3. P. 1–8.
13. Lind V., Fernández-Yepes J., Arbesu L., Weisbjerg M., Jørgensen G., Molina-Alcaide E. Ruminal fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra* sp. // Animals. 2020. Vol. 10. Iss. 1. P. 79. doi: 10.3390/ani10010079.
14. Карамушкина С. В., Вадько А. В. Показатели белкового обмена у жвачных животных при кормлении отходами соевого производства // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 1. С. 55–58. doi: 10.26897/2074-0840-2024-1-55-58. EDN RVZGVL.
15. Jeong S., Oh J., Yoo D., Seo J. Effects of citric acid and heat-treated soybean meal on rumen fermentation characteristics, methane emissions, and microbiota: an *in vitro* study // Journal of Animal Science and Technology. 2024. Vol. 67. P. 393–409. doi: 10.5187/jast.2024.e102.
16. Bahman A., Faciola A., Sarmikasoglou E., Monteiro H., Arce-Cordero J., Johnson M. [et al.]. Effects of amino resin-treated and heat-treated soybean meal on ruminal fermentation, nutrient digestion, and nitrogen partitioning in continuous culture // Journal of Dairy Science. 2024. No. 6. doi: 10.3168/jds.2024-24687.

17. Moran C., Vienola K., Raatikainen K., Holder V., Apajalahti J. Conversion of branched-chain amino acids to corresponding isoacids – an *in vitro* tool for estimating ruminal protein degradability//Frontiers in Veterinary Science. 2019. Vol. 6. P. 311. doi: 10.3389/fvets.2019.00311.

18. Yunilas Y., Tanuwiria U., Syamsu J., Zain M. The balance of rumen degradable protein and readily available carbohydrate in sheep rations on *in vitro* fermentability// Journal of Advanced Veterinary and Animal Research. 2023. Vol. 10. P. 738–743. doi: 10.5455/javar.2023.j729.

References

1. Niyazov N. S. A. Study of the effect of extruded soybean supplementation on feed efficiency in pigs. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2024;3:88–99. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.3.88-99. EDN LMJOJS (in Russ.).
2. Tsuglenok N. V., Matyushev V. V., Tsuglenok G. I., Khokhlova A. I. Results of studies on the inactivation of anti-nutritional substances in soybeans. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012;5(68):394–397. EDN OYCIHT (in Russ.).
3. Dezhatkina S. V., Feoktistova N. A., Sharonina N. V., Isaichev V. A., Dezhatkina M. E., Grigoriev V. S. Ways to improve the quality of livestock products through the feeding of natural protein-vitamin-mineral supplements. *Agrarnaya nauka*, 2022;2:37–42. doi: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-37-42. EDN VQWVCP. (in Russ.).
4. Gabaev M. S., Zhashuev Zh. Kh., Berbekova N. V., Otarova R. M. Efficiency of using feed soybeans and alfalfa silage in dairy cattle breeding. *Agrarnyi vestnik Urala*, 2014;10(128):41–43. EDN SXRGCX (in Russ.).
5. Pavlova M. V., Bogolyubova N. V., Romanov V. N. Biochemical status of blood and rumen in sheep using a new form of betaine. *Veterinariya, zootehnika i biotekhnologiya*, 2023;7:6–13. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202307001. EDN IQESKL (in Russ.).
6. Karamushkina S. V., Vadko A. V. Prospects for the use of soybean production waste in sheep farming. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 52–55), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2021 (in Russ.).
7. Wang H. Effects of fermented soybean meal on rumen fermentation and microbial communities in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 2018;243:1–9. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.06.008.
8. Kharitonov E. L., Berezin A. S. Rumen digestion processes in bullocks during rearing and fattening periods with different levels of metabolizable protein in the diet. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2019;4:64–72. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.4.64-72. EDN YZOSWW (in Russ.).
9. Fondevila M., Dehority B. A. *In vitro* digestion of bacterial and protozoal cell walls by *Entodinium caudatum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000;66;4:1696–1701. doi: 10.1128/AEM.66.4.1696-1701.2000.
10. Newbold C. J. Rumen microbial ecosystem and nitrogen metabolism. *Journal of Dairy Science*, 2015;98;3:1501–1512. doi: 10.3168/jds.2014-8792.
11. Belanche A. Rumen microbial communities influence metabolic phenotypes in lambs. *Journal of Animal Science*, 2020;98;4:74. doi: 10.1093/jas/skaa074.
12. Zhang J., Wu X., Zhang C., Hao X., Yu S., Mu C., Zhao J. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep. *Animal*, 2020;3:1–8.
13. Lind V., Fernández-Yepes J., Arbesu L., Weisbjerg M., Jørgensen G., Molina-Alcaide E. Ruminal fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra sp.* *Animals*, 2020;10;1:79. doi: 10.3390/ani10010079.
14. Karamushkina S. V., Vadko A. V. Indicators of protein metabolism in ruminants when fed with soybean production waste. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo*, 2024;1:55–58. doi: 10.26897/2074-0840-2024-1-55-58. EDN RVZGVL (in Russ.).

15. Jeong S., Oh J., Yoo D., Seo J. Effects of citric acid and heat-treated soybean meal on rumen fermentation characteristics, methane emissions, and microbiota: an *in vitro* study. Journal of Animal Science and Technology, 2024;67:393–409. doi: 10.5187/jast.2024.e102.
16. Bahman A., Faciola A., Sarmikasoglu E., Monteiro H., Arce-Cordero J., Johnson M. [et al.]. Effects of amino resin-treated and heat-treated soybean meal on ruminal fermentation, nutrient digestion, and nitrogen partitioning in continuous culture. Journal of Dairy Science, 2024; 6. doi: 10.3168/jds.2024-24687.
17. Moran C., Vienola K., Raatikainen K., Holder V., Apajalahti J. Conversion of branched-chain amino acids to corresponding isoacids – an *in vitro* tool for estimating ruminal protein degradability. Frontiers in Veterinary Science, 2019;6:311. doi: 10.3389/fvets.2019.00311.
18. Yunilas Y., Tanuwiria U., Syamsu J., Zain M. The balance of rumen degradable protein and readily available carbohydrate in sheep rations on *in vitro* fermentability. Journal of Advanced Veterinary and Animal Research, 2023;10:738–743. doi: 10.5455/javar.2023.j729.

© Карамушкина С. В., 2025

Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 01.09.2025.

Информация об авторе

Карамушкина Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru

Information about the author

Svetlana V. Karamushkina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru

Научная статья

УДК 636.3:591.132

EDN РХНМН

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-56-62>

Особенности минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Светлана Владимировна Карамушкина¹, Алексей Валерьевич Жевнеров²

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия, sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований особенностей минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои: соевых бобов, соевого жмыха, соевого фуражка и соевого шрота. Проведен сравнительный анализ биодоступности кальция и фосфора в рубцовой жидкости, дуоденальном химусе и сыворотке крови овец породы Куйбышевская на сенно-концентратном рационе, где 15 % концентратной части заменяли указанными соевыми продуктами. Использован метод хронического физиологического эксперимента с фистульными технологиями для оценки метаболизма макроэлементов в пищеварительном тракте. Установлено, что рубцовая микрофлора, выделяющая фермент фитазу, повышает биодоступность фосфора, тогда как кислая среда двенадцатиперстной кишки способствует всасыванию кальция. Рационы с соей и жмыхом увеличивают содержание кальция в рубцовой жидкости на 26,7 и 40 % соответственно по сравнению с основным рационом, тогда как фураж снижает его на 18%; фосфор во всех соевых рационах снижается на 2–11 %. В дуоденальном химусе кальций-фосфорное соотношение составляет 2:1, но содержание кальция ниже в сравнении с основным рационом на 5–11 % в зависимости от продукта. В сыворотке крови оптимальное соотношение кальция и фосфора (2:1,2–2:1,5) сохраняется, за исключением рациона с соей (2:1,8). Наибольшая биодоступность кальция в крови наблюдается при использовании жмыха ($2,62 \pm 0,11$ ммоль/л), фосфора – при использовании сои ($2,06 \pm 0,11$ ммоль/л). Рацион с фуражом характеризуется наименьшей концентрацией кальция в рубце, рацион со шротом – снижением минералов в крови из-за образования нерастворимых соединений. Результаты подчеркивают влияние технологической обработки соевых продуктов на растворимость фитатов и оксалатов и могут быть использованы для оптимизации рационов в овцеводстве.

Ключевые слова: минеральный обмен веществ, овцы, продукты переработки сои, физиологические исследования, пищеварение, биологическая доступность

Для цитирования: Карамушкина С. В., Жевнеров А. В. Особенности минерального обмена у овец при введении в рацион продуктов переработки сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 56–62. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-56-62>.

Original article

Features of mineral metabolism in sheep when soybean processing products are introduced into the diet

Svetlana V. Karamushkina¹, Alexey V. Zhevnerov²

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation, sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. This article presents the findings of a study on the peculiarities of mineral metabolism in sheep when incorporating soybean processing products (soybeans, soybean cake, soybean forage, and soybean meal) into their diet. A comparative analysis of calcium and phosphorus bioavailability was conducted in rumen fluid, duodenal chyme, and blood serum of Kuibyshev sheep

fed a hay-concentrate diet, with 15% of the concentrate portion replaced by the specified soybean products. The chronic physiological experiment method with fistulation techniques was employed to assess macronutrient metabolism across the digestive tract. It was found that rumen microflora, producing the enzyme phytase, enhances phosphorus bioavailability, while the acidic environment of the duodenum facilitates calcium absorption. Diets with soybeans and soybean cake increase calcium levels in rumen fluid by 26.7% and 40%, respectively, compared to the control diet, while forage reduces it by 18%; phosphorus levels decrease by 2–11% across all soybean diets. In duodenal chyme, the calcium-to-phosphorus ratio is 2:1, but calcium content is 5–11% lower than the control diet depending on the product. In blood serum, the optimal calcium-to-phosphorus ratio (2:1.2–2:1.5) is maintained, except for the soybean diet (2:1.8). The highest calcium bioavailability in blood is observed with soybean cake (2.62 ± 0.11 mmol/l), and phosphorus peaks with soybeans (2.06 ± 0.11 mmol/l). The forage diet shows the lowest calcium concentration in the rumen, while the meal diet reduces mineral levels in blood due to the formation of insoluble compounds. The results highlight the impact of soybean product processing on phytate and oxalate solubility and provide insights for optimizing sheep diets.

Keywords: mineral metabolism, sheep, soybean products, physiological studies, digestion, bioavailability

For citation: Karamushkina S. V., Zhevnerov A. V. Features of mineral metabolism in sheep when soybean processing products are introduced into the diet. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:56–62. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-56-62>.

Введение. Минеральный обмен у жвачных животных зависит не только от количества минеральных веществ, поступающих с кормом, но и от их биологической доступности для организма. Сложно устроенный желудок и наличие дополнительной обработки корма симбиотной микрофлорой оказывают значительное влияние на биологическую доступность минеральных веществ корма [1–3].

Большая часть кальция усваивается в двенадцатиперстной кишке, чему способствует относительно кислая pH химуса, за счет которой происходит растворение оксалатов и кальций переходит в свободное состояние [4]. Для усвоения фосфора оптимальным значением pH является слабощелочная среда, поэтому основное всасывание фосфора происходит в подвздошной кишке [5].

Помимо кислотности, на интенсивность всасывания многих минеральных веществ влияет состояние энteroцитов кишечной стенки, а именно белков, входящих в состав клеточной мембранны и участвующих в активном транспорте макроэлементов в кровь. Кальбиндин-D9k обеспечивает активный транспорт кальция, а натрий-фосфатные котранспортеры (NaPi-IIb) отвечают за транспорт фосфора [6].

В соевых продуктах кальций и фосфор находятся в связанном состоянии в виде нерастворимых соединений фитатов и оксалатов [7]. Этот факт ограничивает

их доступность для организма животных. Однако в рубце жвачных под действием фермента фитазы, вырабатываемой симбиотной микрофлорой, значительная часть кальция и фосфора высвобождается и способна усвоиться организмом [8].

Исследовать биодоступность кальция и фосфора в различных отделах пищеварительного тракта дает возможность метод хронического физиологического эксперимента с применением фистульных технологий.

Цель работы – исследовать биодоступность кальция и фосфора в различных отделах пищеварительного тракта овец при введении в рацион продуктов переработки сои.

Методы исследований. Исследования проводились на кафедре физиологии, этиологии и биохимии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева с ноября 2024 г. по апрель 2025 г. Материал для исследований получали через фистулу рубца и фистулу двенадцатиперстной кишки у овец. Опыт проводили с соблюдением требований гуманного отношения к экспериментальным животным.

В эксперимент участвовало 4 головы овец Куйбышевской породы, мясо-шерстного направления продуктивности. Масса животных составляла $69 \pm 6,8$ кг, их возраст достигал 1,5 года.

Животные содержались на зоостанции в индивидуальных боксах, согласно зооветеринарным нормам. Овцы находились на сенно-концентратном типе кормления. В основной рацион входили 2 кг сена, 0,5 кг комбикорма марки ОК-80.

В экспериментальных рационах 15 % концентратной части заменяли на соевые продукты (соевые бобы, соевый фураж, соевый шрот, соевый жмых). Опыт проводили методом групп-периодов. В контрольный период животным скармливался основной рацион, в опытные периоды кормили экспериментальным рационом, содержащим один из соевых продуктов (табл. 1). Между опытными периодами животные получали основной рацион. Каждый период длился 10 дней.

Баланс кальция и фосфора исследовали в рубцовой жидкости, дуоденальном химусе и сыворотке крови, полученными натощак (после 12-часовой голодной диеты). Макроэлементы определяли на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS-3000M (Sinnowa, Китай) с использованием наборов биохимических реагентов для ветеринарии ДиаВетТест («Диавет», Россия). В сыворотке крови макроэлементы определяли на автоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-120 (High Technology, Inc., США) с набором реактивов указанной компании.

Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с помощью программы Microsoft Excel. Для статистической оценки результатов использовался *t*-критерий Стьюдента. Результаты считались достоверно значимыми при $p < 0,05$.

Таблица 1 – Содержание кальция и фосфора в экспериментальных компонентах рациона

**Table 1 – The content of calcium and phosphorus in the experimental components of the diet
В процентах (in percent)**

Экспериментальные компоненты рациона	Кальций	Фосфор
Комбикорм ОК-80	0,60	0,80
Соевые бобы	0,48	0,71
Соевый шрот	0,43	0,60
Соевый фураж	0,32	0,57
Соевый жмых	0,26	0,60

Результаты исследований. Для анализа минерального обмена в пищеварительном тракте при введении в рацион овец продуктов переработки сои рассмотрим показатели кальция и фосфора в рубцовой жидкости и дуоденальном химусе.

Из таблицы 2 видим, что в рубцовой жидкости соотношение кальция и фосфора при введении в рацион сои и соевого жмыха составляет 1:3,6; при введении соевого фуража уровень фосфора превышает кальций в 5,4 раза, а при использовании соевого шрота – в 4,5 раза. При этом при использовании в качестве белковой добавки сои и соевого жмыха уровень кальция в рубцовой жидкости достоверно выше контрольного периода (основной рацион) соответственно на 26,7 и 40 %. Введение в рацион соевого фуражда снижает содержание кальция в рубцовой жидкости на 18 %. Содержание фосфора при введении в рацион соевых продуктов напротив понижается по сравнению с контрольным кормом на 2–11 %.

В дуоденальном химусе кальций-фосфорное соотношение составляет 2:1. При использовании продуктов переработки сои содержание кальция достоверно ниже основного рациона в первом опытном периоде (соевые бобы) на 5 %; во втором (жмых) – на 11 %; в третьем (фураж) – на 8 % и в четвертом (шрот) – на 10 %. Концентрация фосфора в дуоденальном химусе при замене части рациона на соевые продукты достоверно не изменяется, за исключением второго опытного периода, где фосфор по сравнению с контролем ниже на 13 %.

Дальнейшее усвоение минеральных веществ из пищеварительного тракта в

Таблица 2 – Показатели кальция и фосфора в пищеварительном тракте овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Table 2 – Indicators of calcium and phosphorus in the digestive tract of sheep when soybean products are introduced into the diet

Периоды	Рубцовая жидкость			Дуоденальный химус		
	Са	P	Ca:P	Са	P	Ca:P
Контрольный (основной рацион)	2,66±0,114	12,74±0,356	1:4,8	20,03±0,504	10,40±0,664	2:1,0
Первый опытный (соя)	3,37±0,260*	12,21±0,390	1:3,6	19,08±0,873*	10,01±0,503	2:1,1
Второй опытный (жмых)	3,74±0,064*	11,39±0,242*	1:3,6	17,93±1,273*	9,02±0,738*	2:1,1
Третий опытный (фураж)	2,19±0,147*	11,78±0,144*	1:5,4	18,43±1,552*	10,35±0,509	2:1,1
Четвертый опытный (шрот)	2,63±0,299	11,81±0,256*	1:4,5	17,99±0,658*	10,03±0,235	2:1,2

* $p < 0,05$ уровень достоверности при сравнении с контрольным периодом.

кровь характеризуется концентрацией кальция и фосфора в сыворотке крови.

Анализируя данные гистограммы (рис. 1), можно отметить, что как при использовании основного рациона, так и при введении соевых продуктов кальций-фосфорное соотношение приближено к оптимальному и соответствует 2:1,2–2:1,5. Исключением является отношение кальция к фосфору при замене части рациона нативными соевыми бобами (2:1,8). Наиболее высокий уровень кальция в крови регистрируется при введении в рацион соевого жмыха ($2,62 \pm 0,11$ ммоль/л). В первый опытный период (соя) в сыворотке крови овец наблюдается максимальная концентрация фосфора ($2,06 \pm 0,11$ ммоль/л).

Обсуждение результатов. У овец, как модельных жвачных животных, предварительная обработка корма в преджелудках влияет на метаболизм минеральных веществ и биодоступность их для организма.

При 15-процентной замене концентратной части рациона овец продуктами переработки сои содержание кальция в рубцовой жидкости ниже концентрации фосфора в 4–5 раз; соответственно кальций-фосфорное соотношение составляет 1:3,6–1:5,4. Такое высокое содержание фосфора объясняется выработкой микробного фермента фитазы, которая разрушает нерастворимые соединения фитаты и переводит фосфор в доступную для организма форму. Концентрация кальция

в рубцовой жидкости понижена, так как его соли в слабощелочной среде рубцовой жидкости малорастворимы, что снижает его биологическую доступность [9].

В дуоденальном химусе уровень кальция возрастает по сравнению с рубцовой жидкостью при введении в рацион сои в 5,7 раза, соевого жмыха в 4,8 раза, соевого фуража в 8,4 раза и соевого шрота в 6,8 раза. Повышение биодоступности кальция объясняется сдвигом pH среды в двенадцатиперстной кишке в более кислую сторону, что способствует растворению солей кальция и одновременно снижению биодоступности фосфора, соли которого хорошо растворяются при слабощелочной среде [10].

В продуктах переработки сои и в самих соевых бобах содержится значительное количество кальция и фосфора, однако их биодоступность для моногастрических животных снижается из-за нерастворимых соединений фитатов и оксалатов. В рубце жвачных микрофлора выделяет особый фермент фитазу, которая переводит кальций и фосфор в доступную для организма форму [11].

На усвоение минеральных веществ из пищеварительного тракта в кровь влияет кислотность среды и функциональное состояние энтероцитов. Основное всасывание кальция в кровь происходит из полости двенадцатиперстной кишки, в то время как фосфор усваивается в нижележащих отделах тонкого кишечника (под-

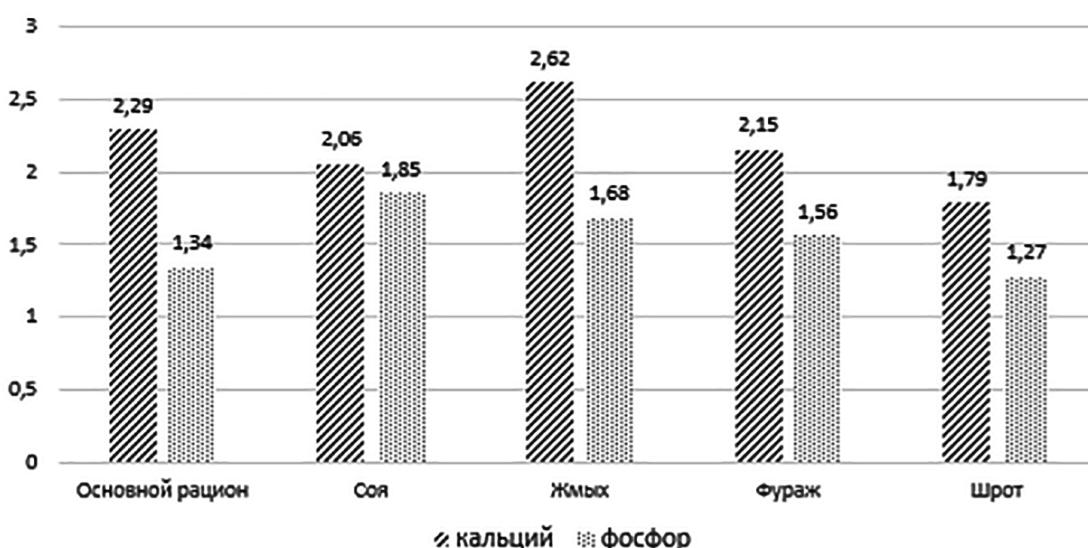


Рисунок 1 – Показатели кальция и фосфора в сыворотке крови овец при введении в рацион продуктов переработки сои, ммоль/л

Figure 1 – Indicators of calcium and phosphorus in sheep blood serum when soybean products are introduced into the diet, mmol/l

вздошная кишка), где показатели pH сдвигаются в щелочную сторону.

Уровень кальция и фосфора в сыворотке крови повышается при введении в рацион соевого жмыха, который в результате своей переработки увеличивает их биодоступность [12], в то время как шрот снижает количество кальция и фосфора. Возможно предположить, что в процессе технологической обработки образуются нерастворимые соединения этих минералов, которые снижают их биодоступность. Несмотря на достоверную разницу показателей концентрации кальция и фосфора с контрольным периодом (основной рацион), в сыворотке крови сохраняется оптимальное соотношение этих макроэлементов (рис. 1). При введении в рацион сои кальций-фосфорное соотношение составляет 2:1,8. Можно сказать, что в данном экспериментальном периоде биодоступность кальция снижается, тогда как фос-

фора увеличивается. Данный факт можно объяснить тем, что соя не проходит предварительной обработки и вводится в корм животным в нативном виде [13].

Заключение. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что особенности строения пищеварительного тракта жвачных животных оказывают определенное влияние на обработку и усвоение кальция и фосфора из продуктов переработки сои.

Условия в рубце положительно влияют на биодоступность фосфора, в то время как в полости двенадцатиперстной кишки увеличивается биодоступность кальция. Из всех рассмотренных экспериментальных соевых продуктов наиболее доступный кальций и фосфор содержится в соевом жмыхе, что обеспечивает оптимальное соотношение минералов в сыворотке крови при достоверно высоком уровне концентрации.

Список источников

1. Волнин А. А. Физиолого-биохимические особенности межвидовых гибридов овец романовской породы и архара : дис. ... канд. биол. наук. Боголюбово, 2019. 150 с. EDN UUMPML.
2. Боголюбова Н. В., Багиров В. А., Зиновьева Н. А. Особенности минерального обмена у гибридных овец романовской породы с архаром (*Ovis ammon*) // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 52–55. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10712. EDN XYUKGD.

3. Карамушкина С. В., Вадько А. В. Перспективы использования отходов производства сои в овцеводстве // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2021. С. 52–55. EDN HDIAIH.
4. Köhler O., Grünberg W., Schnepel N., Muscher-Banse A., Rajaeerad A., Hummel J. [et al.]. Dietary phosphorus restriction affects bone metabolism, vitamin D metabolism and rumen fermentation traits in sheep // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2020. Vol. 104. Iss. 6. P. 1902–1914. doi: 10.1111/jpn.13449.
5. Vötterl J., Klinsoda J., Zebeli Q., Hennig-Pauka I., Kandler W., Metzler-Zebeli B. Dietary phytase and lactic acid-treated cereal grains differently affected calcium and phosphorus homeostasis from intestinal uptake to systemic metabolism in a pig model // Nutrients. 2020. Vol. 12. Iss. 5. P. 1542. doi: 10.3390/nu12051542.
6. Kızılaslan M., Arzik Y., Behrem S., Yavuz E., White S., Cinar M. Unravelling the genetic architecture of serum biochemical indicators in sheep // Genes. 2024. Vol. 15. Iss. 8. P. 990. doi: 10.3390/genes15080990.
7. Литвиненко О. В., Корнева Н. Ю., Кодирова Г. А., Кубанкова Г. В. Результаты сравнительного изучения сортов сои по показателям биохимического состава зерна // Агронавка. 2023. Т. 1. № 4. С. 62–70. doi: 10.24412/2949-2211-1-4-62-70. EDN ALUMFX.
8. Tapia J., Leib S., Marini P., Fischman M. Effect of mineral supplementation on the macromineral concentration in blood in pre- and postpartum blackbelly sheep // Animals. 2020. Vol. 10. Iss. 7. P. 1206. doi: 10.3390/ani10071206.
9. Toral P., Hervás G., Frutos P., Yáñez-Ruiz D., Belenguer A., Bati M. Impact of oxalic acid on rumen function and bacterial community in sheep // Animal. 2013. Vol. 7. Iss. 6. P. 940–947. doi: 10.1017/S1751731112002455.
10. Spears J., Brandao V., Guimaraes O., Wagner J., Engle T. Trace mineral source influences digestion, ruminal fermentation, and ruminal copper, zinc, and manganese distribution in steers fed a diet suitable for lactating dairy cows // Animal. 2022. Vol. 16. Iss. 4. P. 100500. doi: 10.1016/j.animal.2022.100500.
11. Gbamwuam D., Francis A., Tsenum J. Evaluation of soybean varieties for oxalate, phytate and polyunsaturated fatty acids content // Science Open Preprints. 2020. No. 12. P. 1–67. doi: 10.14293/S2199-1006.1.SOR-PPPZPXC.v1.
12. Waldron K., Arrutia F., Williams P., Binner E. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 100. P. 336–348. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.044.
13. Zhang R., Gao K., Shi J., Xue S., Sun H., Di D. [et al.]. Exploring the dual role of anti-nutritional factors in soybeans: a comprehensive analysis of health risks and benefits // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. No. 11. P. 1–18. doi: 10.1080/10408398.2024.2430757.

References

1. Volnin A. A. Physiological and biochemical characteristics of interspecific hybrids of Romanov sheep and argali. *Candidate's thesis*. Bogolyubovo, 2019, 150 p. (in Russ.).
2. Bogolyubova N. V., Bagirov V. A., Zinovieva N. A. Features of mineral metabolism in hybrid sheep of Romanov breed with argali (*Ovis ammon*). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018;32;7:52–55. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10712. EDN XYUKGD (in Russ.).
3. Karamushkina S. V., Vadko A. V. Prospects for the use of soybean production waste in sheep farming. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 52–55), Blagoveshchensk, Dalnevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2021 (in Russ.).
4. Köhler O., Grünberg W., Schnepel N., Muscher-Banse A., Rajaeerad A., Hummel J. [et al.]. Dietary phosphorus restriction affects bone metabolism, vitamin D metabolism and rumen fermentation traits in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020; 104;6:1902–1914. doi: 10.1111/jpn.13449.
5. Vötterl J., Klinsoda J., Zebeli Q., Hennig-Pauka I., Kandler W., Metzler-Zebeli B. Dietary phytase and lactic acid-treated cereal grains differently affected calcium and phosphorus homeostasis from intestinal uptake to systemic metabolism in a pig model. *Nutrients*, 2020;12;5: 1542. doi: 10.3390/nu12051542.

6. Kızılaslan M., Arzik Y., Behrem S., Yavuz E., White S., Cinar M. Unravelling the genetic architecture of serum biochemical indicators in sheep. *Genes*, 2024;15:8:990. doi: 10.3390/genes15080990.
7. Litvinenko O. V., Korneva N. Yu., Kodirova G. A., Kubankova G. V. Results of comparative study of soybean varieties by biochemical composition of grain. *Agronauka*, 2023;1:4:62–70. doi: 10.24412/2949-2211-1-4-62-70. EDN ALUMFX (in Russ.).
8. Tapia J., Leib S., Marini P., Fischman M. Effect of mineral supplementation on the macromineral concentration in blood in pre- and postpartum blackbelly sheep. *Animals*, 2020;10:7:1206. doi: 10.3390/ani10071206.
9. Toral P., Hervás G., Frutos P., Yáñez-Ruiz D., Belenguer A., Bati M. Impact of oxalic acid on rumen function and bacterial community in sheep. *Animal*, 2013;7:6:940–947. doi: 10.1017/S1751731112002455.
10. Spears J., Brandao V., Guimaraes O., Wagner J., Engle T. Trace mineral source influences digestion, ruminal fermentation, and ruminal copper, zinc, and manganese distribution in steers fed a diet suitable for lactating dairy cows. *Animal*, 2022;16:4:100500. doi: 10.1016/j.animal.2022.100500.
11. Gbamwuam D., Francis A., Tsenum J. Evaluation of soybean varieties for oxalate, phytate and polyunsaturated fatty acids content. *Science Open Preprints*, 2020;12:1–67. doi: 10.14293/S2199-1006.1.SOR-PPPZPXC.v1.
12. Waldron K., Arrutia F., Williams P., Binner E. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 2020;100:336–348. doi: 10.1016/j.tifs.2020.03.044.
13. Zhang R., Gao K., Shi J., Xue S., Sun H., Di D. [et al.]. Exploring the dual role of anti-nutritional factors in soybeans: a comprehensive analysis of health risks and benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024;11:1–18. doi: 10.1080/10408398.2024.2430757.

© Карамушкина С. В., Жевнеров А. В., 2025

Статья поступила в редакцию 14.07.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 14.07.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 01.09.2025.

Информация об авторах

Карамушкина Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru;

Жевнеров Алексей Валерьевич, кандидат химических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0000-0003-1658-762X, Author ID: J-4346-2013

Information about the authors

Svetlana V. Karamushkina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru;

Alexey V. Zhevnerov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0000-0003-1658-762X, Author ID: J-4346-2013

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 636.082.2:619:616-07(571.56)

EDN FJOYFH

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-63-68>

Анализ синхронограмм сердечного ритма у северных домашних оленей эвенкийской породы Республики Саха (Якутия)

**Евгений Евгеньевич Степура¹, Валерий Иннокентьевич Федоров²,
Туяра Ивановна Дмитриева³**

^{1, 2, 3} Арктический государственный агротехнологический университет
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ chimik89@mail.ru, ² vfedorov_09@mail.ru, ³ dark_dell@mail.ru

Аннотация. В статье отражены результаты исследований корреляционной ритмографии, представляющей метод визуализации и анализа вариабельности сердечного ритма, основанный на построении двумерного графика. В комплексном анализе результатов исследования сердечного ритма северного домашнего оленя корреляционное ритмографическое исследование (синхронография) играет важную роль, поскольку характеризует не только степень централизации управления сердечным ритмом, но и является мобильным показателем общего состояния животного. В ходе исследований животные эвенкийской породы были разделены на группы, исходя из результатов анализа электрокардиограмм, рассчитанных на основе индекса напряжения. «Облако» фазовых координат «кучнее» у оленей-номадоников. Такая фиксация кардиоинтервалов свидетельствует о высокой степени вариабельности сердечного ритма, слабой централизации управления им, а также преобладании автономного контура регуляции. Для другой группы оленей наблюдается высокая кучность точек, а также уменьшение размера облака. Это характерно для высокой степени централизации управления сердечным ритмом, преобладании действия центрального контура регуляции. Наконец, получение удаленных друг от друга точек, указывает на отклонения в работе сердечно-сосудистой системы (аритмия, хроническая сердечная недостаточность) соответствующей группы оленей. При этом размер облака сильно увеличен. Учитывая, что вариационный анализ ритма сердца дает возможность дифференцированной оценки степени напряженности тонуса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, синхронограммы являются показательным визуальным методом вариабельности сердечного ритма.

Ключевые слова: северные домашние олени, эвенкийская порода, синхронограмма, вариабельность сердечного ритма, кардиоинтервал

Для цитирования: Степура Е. Е., Федоров В. И., Дмитриева Т. И. Анализ синхронограмм сердечного ритма у северных домашних оленей эвенкийской породы Республики Саха (Якутия) // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 63–68. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-63-68>.

Original article

Analysis of scatterograms of heart rate in northern domestic reindeer of the Evenki breed of the Republic of Sakha (Yakutia)

Evgeniy E. Stepura¹, Valery I. Fedorov², Tuyara I. Dmitrieva³

^{1, 2, 3} Arctic State Agrotechnological University

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ chimik89@mail.ru, ² vfedorov_09@mail.ru, ³ dark_dell@mail.ru

Abstract. The results of correlation rhythmography studies are given. She presents a method for visualizing and analyzing heart rate variability based on the construction of a two-dimensional graph. Correlation rhythmography (scatterography) plays an important role in the comprehensive analysis of the results of the study of the heart rate of the reindeer, as it is a mobile indicator of the general condition of the animal. According to the research methodology, the Evenki deer were divided into groups based on the results of the electrocardiogram analysis. The "cloud" of phase coordinates is "more dense" in normotonic deer. Such fixation of cardiac intervals shows a high degree of heart rate variability, weak centralization of its control, as well as the predominance of an autonomous regulation circuit. For another group of deer, there is a high number of dots, as well as a decrease in cloud size. This shows a high degree of centralization of heart rate control, the predominance of the action of the central control circuit. Getting points far from each other and a strong increase in the size of the cloud indicates abnormalities in the functioning of the cardiovascular system (arrhythmia, chronic heart failure) the corresponding deer group. Since the variational analysis of the heart rhythm makes it possible to differentiate the degree of tension of the tone of the sympathetic and parasympathetic parts of the autonomic nervous system, it can be concluded that scatterograms are an indicative visual method of heart rate variability.

Keywords: reindeer, Evenki breed, scatterogram, heart rate variability, cardio interval

For citation: Stepura E. E., Fedorov V. I., Dmitrieva T. I. Analysis of scatterograms of heart rate in northern domestic reindeer of the Evenki breed of the Republic of Sakha (Yakutia). *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:63–68. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-63-68>.

Введение. В основе деятельности сердца лежат механизмы его регуляции. Состояние регуляции сердечно-сосудистой системы, а именно функциональное состояние различных отделов вегетативной регуляции у животных, в частности оленей, до самого недавнего времени не изучалось. Традиционный анализ электрокардиограммы не позволяет правильно и полностью оценить состояние механизмов регуляции сердечной деятельности оленей. Информация о процессах регуляции, которые осуществляются на уровне органов и систем, характеризует функциональное состояние организма животных [1]. При этом анализ вариабельности сердечного ритма позволяет исследовать более тонкие механизмы регуляции сердечно-сосудистой системы [2–7]. Количественную оценку нервных и гуморальных влияний на сердечный ритм осуществляют вычислением различных показателей, отражающих изменчивость интервалов R-R.

Нами отражены результаты исследований корреляционной ритмографии. Данный метод визуализации и анализа вариабельности сердечного ритма основан на построении двумерного графика. Каждая точка на графике отражает последовательные пары R-R-интервалов (интервалов между ударами сердца). При этом текущий интервал откладывается по оси Y, а следующий – по оси X. Получаемое

облако точек называется скаттерограммой, автокорреляционным облаком или корреляционной ритмограммой.

Метод был разработан Хупе и Бунгарисом (1969), Ю. А. Власовым с соавторами (1971). Его внедрение в нашей стране связано с работами Э. В. Земцовского с соавторами (1977).

Скаттерограмма графически интерпретируется следующим образом:

1. Нормальный ритм (нормосистолия) формирует компактное облако точек.
2. Тахисистолия (учащенный ритм) или брадикардия (замедленный ритм) смещают точки вдоль соответствующей оси.
3. Пароксизмальная тахикардия проявляется резкими «выбросами» точек из-за внезапных изменений интервалов.

Данным способом описания совокупности кардиоинтервалов является расчет отношений продольной и поперечной оси. Продольная ось (a) отражает медленные колебания ритма (связаны с гуморальной и симпатической регуляцией). Поперечная ось (b) показывает быстрые изменения (парасимпатическая активность, дыхательные влияния). Высокое соотношение (a/b) указывает на доминирование медленной периодики, что коррелирует с меньшим напряжением регуляторных систем и лучшим функциональным состоянием.

Корреляционная ритмограмма позволяет выявить аритмии (например, пароксизмальной тахикардии) через анализ резких изменений в расположении точек, а также в оценке вегетативной регуляции: связь с индексом функционального состояния и индексом напряжения (отрицательная корреляция).

У северных домашних оленей отсутствуют исследования показателей вариационной пульсометрии и скаттерографический корреляционный анализ на основе вариабельности сердечного ритма. В этой связи представленный в настоящей статье материал представляется актуальным и имеет научную новизну.

Целью исследований является изучение вариабельности сердечного ритма северных домашних оленей эвенкийской породы по форме корреляционной ритмографии (скаттерограммы) сердечного ритма с выявлением аритмии.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. У исследуемых животных получены электрокардиограммы.
2. Проведен анализ электрокардиограмм на основе математической обработки вариабельности сердечного ритма.
3. На основе индекса напряжения регуляторных систем организма установлен исходный вегетативный статус животных.
4. Проанализированы полученные скаттерограммы исследуемых животных.

Материал и методы исследований.
Клиническое и электрокардиографическое исследования оленей эвенкийской породы проводили в ресурсном резерве «Кэнкэмэ» (родовая община коренных малочисленных народов севера – эвенков имени Аполлона Константиновича Ильинова «Энэси Халан» (Сила Народа)) в июне 2024 г.

В период проведения исследований животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания в соответствии с зоогигиеническими требованиями.

Перед тем как провести электрокардиографические обследования, в присутствии ветеринарного врача хозяйства провели контрольный осмотр оленей, чтобы исключить наличие инфекционных и неинфекционных заболеваний, поскольку

многие болезни могут оказывать как прямое, так и косвенное воздействие на состояние сердечно-сосудистой системы.

Клинические методы исследований включали осмотр, пальпацию, перкуссию, аускультацию и термометрию.

В работе использовался метод вариабельности сердечного ритма, который является общепринятым для оценки функционального состояния регуляторных систем, а также врожденных функциональных резервов организма.

Анализ проведен по Р. М. Баевскому, при этом регистрировался синусовый сердечный ритм с последующим анализом его структуры [1]. Регистрация кардиоинтервалограмм проводилась в системе фронтальных отведений с помощью специализированной электрофизиологической лаборатории CONAN 4.5.

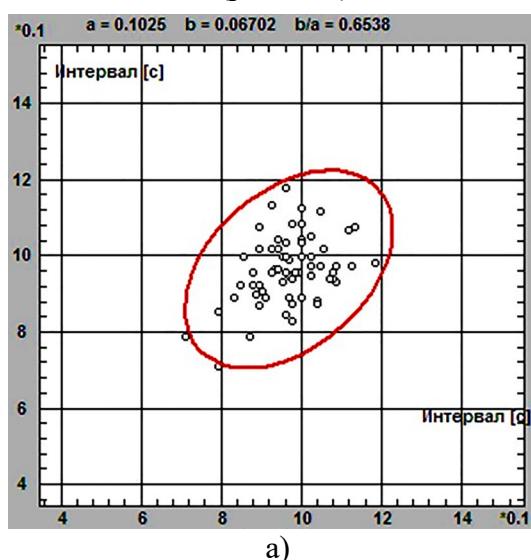
ЭКГ снималась за 2–3 часа до приема пищи, когда частота пульса стабилизировалась. Регистрировались 200 последовательных кардиоинтервалов (КИ, R-R), на основании которых строились скаттерограммы исследуемых животных.

Результаты исследований и их обсуждение. Скаттерограмма представляет зависимость последовательных пар кардиоинтервалов (предыдущего и последующего) в двумерной координатной плоскости [4]. Каждая точка на графике обозначает соотношение между длительностью предыдущего (по оси Y) и следующего (по оси X) кардиоинтервалов R-R. По результатам скаттерограмм возможно определить вариабельность ритма. Чем кучнее «облако» точек, тем меньше вариабельность. Программа визуализирует скаттерограмму в виде эллипса [5], тем самым позволяя выявлять отклонения в работе сердечно-сосудистой системы (аритмия, хроническая сердечная недостаточность). При отклонениях в работе сердца диаграмма рассеивания может приобретать рандомный характер – рассеиваться на фрагменты. В таком случае «точки» фиксируются диагонально от основного «облака».

Исследуемых оленей мы разделили на группы, исходя из результатов анализа электрокардиограмм, рассчитанных на базе индекса напряжения.

Анализ скаттерограммы (рис. 1, а) показывает, что «облако» фазовых координат «кучнее» у домашнего северного оленя – нормотоника. Такая фиксация кардиоинтервалов свидетельствует о высокой степени вариативности сердечного ритма, слабой централизации управления им, а также преобладании автономного контура регуляции.

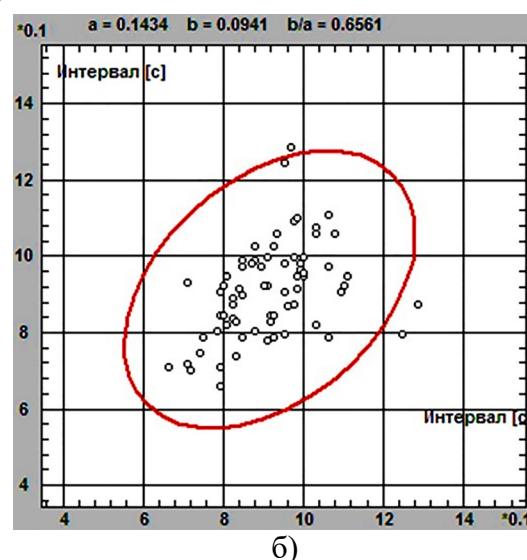
В случаях небольших отклонений в работе сердечно-сосудистой системы (аритмия) фиксируются смещенные относительно диагонали точки, сдвинутые в область коротких кардиоинтервалов от основного облака (рис. 1, б).



а)

Рисунок 1 – Скаттерограмма северного домашнего оленя – нормотоника

Figure 1 – Scatterogram of the northeren domestic reindeer – normotonic



б)

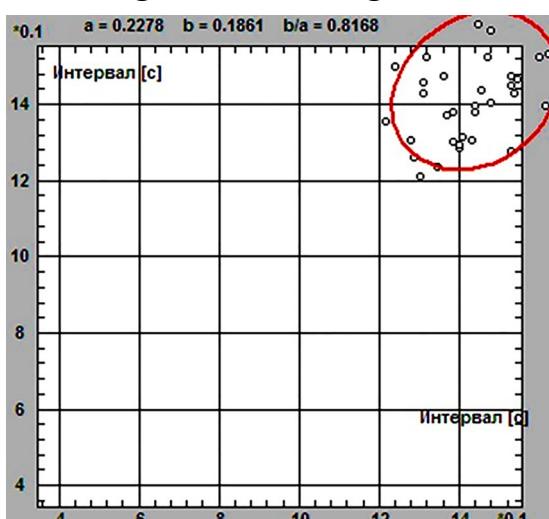


Рисунок 2 – Скаттерограмма северного домашнего оленя (гиперваготоник)

Figure 2 – Scatterogram of the northen domestic reindeer (hypervagotonic)

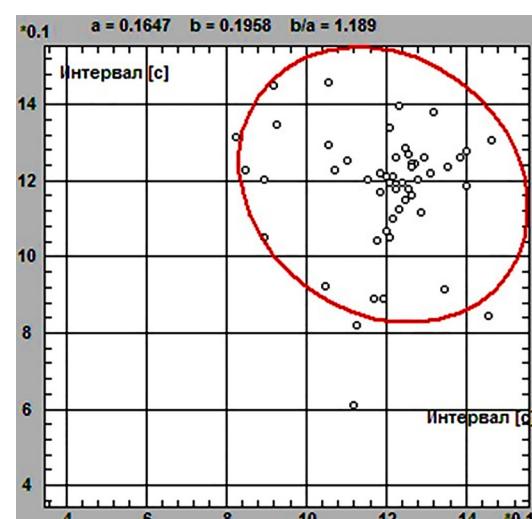


Рисунок 3 – Скаттерограмма северного домашнего оленя (ваготоник)

Figure 3 – Scatterogram of the northen domestic reindeer (vagotonic)

Заключение. Впервые проведен полный скаттерографический корреляционный анализ у домашних северных оленей на основе вариабельности сердечного ритма. Скаттерограммы позволяют выявлять важные индивидуальные особенности действия регуляторных механизмов.

Опираясь на данные исследования, для северного домашнего оленя возможно определение вегетативного тонуса по форме облака корреляционной ритмографии. Графическое расположение точек в виде окружности наблюдается у животных с нормотонией; более сжатый радиус – у симпатикотоников; разброс точек с большим радиусом окружности – у ваготоников.

Учитывая, что вариационный анализ ритма сердца дает возможность дифференцированной оценки степени напряженности тонуса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [7], скаттерограммы являются показательным визуальным методом вариабельности сердечного ритма.

Опираясь на данные проведенных исследований, возможно определение вегетативного тонуса по форме скаттерографического облака.

Оценку скаттерограммы при аритмиях целесообразно использовать, когда другие методы статистического анализа неприемлемы или малоинформативны.

Список источников

1. Емельянова А. С., Никитов С. В. Анализ взаимосвязи первичных показателей вариационных пульсограмм коров и молочной продуктивности при применении добавки «Витартил» // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 3. С. 250–251. EDN PBPEOF.
2. Емельянова А. С., Степура Е. Е., Герасимов М. А. Анализ вегетативного тонуса коров джерсейской породы // Агропромышленный комплекс: контуры будущего : материалы IX междунар. науч.-практ. конф. Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. С. 248–252. EDN RZQFJR.
3. Наумов М. М., Емельянова А. С., Степура Е. Е., Пахомов В. А. Электрофизиологические параметры вариабельности сердечного ритма коров джерсейской породы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 6. С. 97–103. EDN BMRPDN.
4. Степура Е. Е. Анализ электрофизиологических параметров ВСР животных с разным вегетативным статусом // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2022. № 2 (46). С. 8–16. doi: 10.25688/2076-9091.2022.46.2.01. EDN TKHIXA.
5. Степура Е. Е. Анализ динамического ряда вторичных показателей вариационных пульсограмм коров джерсейской породы // Естественные и технические науки. 2017. № 6 (108). С. 28–31. EDN YTVWDF.
6. Степура Е. Е. Анализ показателей вариабельности сердечного ритма коров джерсейской породы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 11 (211). С. 110–114. EDN YLQIEY.
7. Емельянова А. С., Степура Е. Е. Исходный вегетативный тонус коров джерсейской породы на основе индекса напряжения и его анализ // Естественные науки. 2017. № 4 (61). С. 128–133. EDN YOOVCW.

References

1. Emelyanova A. S., Nikitov S. V. Analysis of the relationship between the primary indicators of variation pulseograms of cows and milk productivity when using the additive "Vitartil". *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012;3:250–251. EDN PBPEOF (in Russ.).
2. Emelyanova A. S., Stepura E. E., Gerasimov M. A. Analysis of vegetative tone of Jersey cows. Proceedings from Agro-industrial complex: contours of the future: *IX Mezhdunarodnaya*

nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 248–252), Kursk, Kurskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya, 2018. EDN RZQFJR (in Russ.).

3. Naumov M. M., Emelyanova A. S., Stepura E. E., Pakhomov V. A. Electrophysiological parameters of heart rate variability in Jersey cows. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2022;6:97–103. EDN BMRPDN (in Russ.).

4. Stepura E. E. Analysis of electrophysiological parameters of heart rate variability in animals with different vegetative status. *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2022;2(46):8–16. doi: 10.25688/2076-9091.2022.46.2.01. EDN TKHIXA (in Russ.).

5. Stepura E. E. Analysis of the dynamic series of secondary indicators of variation pulsograms of Jersey cows. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2017;6(108):28–31. EDN YTVWDF (in Russ.).

6. Stepura E. E. Analysis of heart rate variability indicators of Jersey cows. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017;11(211):110–114. EDN YLQIEY (in Russ.).

7. Emelyanova A. S., Stepura E. E. Initial vegetative tone of Jersey cows based on the stress index and its analysis. *Estestvennye nauki*, 2017;4(61):128–133 EDN YOOVCW (in Russ.).

© Степура Е. Е., Федоров В. И., Дмитриева Т. И., 2025

Статья поступила в редакцию 03.09.2025; одобрена после рецензирования 09.09.2025; принята к публикации 10.09.2025.

The article was submitted 03.09.2025; approved after reviewing 09.09.2025; accepted for publication 10.09.2025.

Информация об авторах

Степура Евгений Евгеньевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии сельскохозяйственных животных и экологии, Арктический государственный агротехнологический университет, chimik89@mail.ru;

Федоров Валерий Иннокентьевич, доктор биологических наук, ректор, Арктический государственный агротехнологический университет, vfedorov_09@mail.ru;

Дмитриева Туяра Ивановна, специалист научно-исследовательской части, Арктический государственный агротехнологический университет, dark_dell@mail.ru

Information about the authors

Evgeniy E. Stepura, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology of Farm Animals and Ecology, Arctic State Agrotechnological University, chimik89@mail.ru;

Valery I. Fedorov, Doctor of Biological Sciences, Rector, Arctic State Agrotechnological University, vfedorov_09@mail.ru;

Tuyara I. Dmitrieva, Specialist of the Research Department, Arctic State Agrotechnological University, dark_dell@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES**

Научная статья

УДК 637.148:634.7

EDN DPWQSS

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-69-77>

Исследования характеристик качества продукта из сливок повышенной жирности, обогащенного функциональным пищевым ингредиентом

**Ольга Валентиновна Голуб¹, Наталья Владимировна Мотовилова²,
Олег Константинович Мотовилов³**

^{1, 2, 3} Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН
Новосибирская область, Краснообск, Россия

¹ golubov@sfsc.ru, ² motovilovanv@sfsc.ru, ³ motovilovok@sfsc.ru

Аннотация. Проведены исследования органолептических, физико-химических и микробиологических характеристик качества продукта из сливок повышенной жирности (массовая доля жира 33 %) и плодового сырья (черники, ирги, крыжовника), обогащенного витамином С. Продукт получали путем смешивания полуфабриката из плодового сырья и нормализованных сливок в механоакустическом оборудовании (МАГ-50, Россия); обработки смеси (температура 72–75 °C; время 24–26 мин; скорость вращения ротора диспергатора и мешалки 2 900 и 10 об/мин соответственно); внесения за 5 минут до окончания процесса аскорбиновой кислоты; фасования и укупоривания, охлаждения и хранения продукта. Установлено, что добавление в продукцию плодового сырья в количестве не менее 11,45 % позволяет сформировать оригинальные цвет (коричневый с различными оттенками), запах, вкус и послевкусие (сладко-кислые, характерные сливкам, с тонами, свойственными используемому плодовому сырью и высокотемпературному воздействию, насыщенные, длительные) продукта, индивидуальные содержания органических кислот и показатели динамической вязкости (наибольшие из ягод крыжовника, наименьшие из плодов ирги). На содержание в продукции жира, оценки за внешний вид и консистенцию плодовое сырье не оказывало значимого влияния. Отмечено, что использование в составе 3,75 г продукта аскорбиновой кислоты в объеме 0,55 % обеспечивает не менее 10 % суточной потребности в витамине. В продукте отсутствовали фосфатаза, плесневые грибы, санитарно-показательные, условно-патогенные и патогенные микроорганизмы. Определены срок годности и условия хранения продукта: в стеклянных банках не более 6 месяцев при температуре не выше 20 °C, в защищенном от прямых солнечных лучей месте.

Ключевые слова: функциональные продукты, сливки, плоды ягод, аскорбиновая кислота, показатели качества

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0533-2024-0005).

Для цитирования: Голуб О. В., Мотовилова Н. В., Мотовилов О. К. Исследования характеристик качества продукта из сливок повышенной жирности, обогащенного функциональным пищевым ингредиентом // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 69–77. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-69-77>.

Quality characteristics of a made from high-fat cream product fortified with a functional food ingredient

Olga V. Golub¹, Natalya V. Motovilova², Oleg K. Motovilov³

^{1, 2, 3} Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russian Federation

¹ golubov@sfscra.ru, ² motovilovanv@sfscra.ru, ³ motovilovok@sfscra.ru

Abstract. The organoleptic, physicochemical and microbiological characteristics of the quality made from high-fat cream product (fat mass fraction 33%) and fruit raw materials (blueberries, serviceberry, gooseberries) fortified with vitamin C were studied. The product was obtained by mixing the semi-finished product from fruit raw materials and normalized cream in mechano-acoustic equipment (MAG-50, Russia); processing the mixture (temperature is 72–75 °C; time is 24–26 minutes; rotation speed of the disperser rotor and mixer is 2,900 and 10 rpm, respectively). Ascorbic acid was added 5 minutes before the process was completed. The product was packaged and sealed, cooled and stored. It was found that the addition of fruit raw materials to the product in an amount of at least 11.45% allows to form the original color (brown with various shades), smell, taste and aftertaste (sweet and sour, characteristic of cream, with tones inherent in the used fruit raw materials and high-temperature exposure, saturated, long) of the product, individual content of organic acids and dynamic viscosity indicators (the highest of gooseberries, the lowest of serviceberry). Fruit raw materials did not have a significant effect on the fat content in the product, assessments for appearance and consistency. It was noted that the use of ascorbic acid in the amount of 0.55% in the composition of 3.75 g of the product provides at least 10% of the daily requirement for the vitamin C. The product did not contain phosphatase, mold fungi, sanitary-indicative, opportunistic and pathogenic microorganisms. The shelf life of the product was determined: in glass jars no more than 6 months at a temperature no higher than 20 °C, in a place protected from direct sunlight.

Keywords: functional products, cream, fruits of berries, ascorbic acid, quality indicators

Funding: the work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 0533-2024-0005).

For citation: Golub O. V., Motovilova N. V., Motovilov O. K. Quality characteristics of a made from high-fat cream product fortified with a functional food ingredient. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:69–77. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-69-77>.

Введение. В связи с увеличением понимания потребителями взаимосвязи питания и здоровья, в настоящее время характерен рост потребления функциональной пищевой продукции с включением биоактивных ингредиентов.

В последние годы научный взгляд на молочные жиры претерпевает изменения: если раньше они ассоциировались с негативными последствиями для здоровья, то теперь получены новые сведения, доказывающие их благоприятное воздействие, что, в свою очередь, привело к развитию научного интереса к продуктам, содержащим их в значительном количестве (например, маслу, сливкам), многие из которых традиционно используются в питании человека [1, 2].

Аскорбиновая кислота, более известная как витамин С, представляет органическое соединение, принадлежащее к семейству моносахаридов; не синтезируется организмом человека из-за отсутствия фермента L-гулонолактоноксидазы, ответственного за последнюю метаболическую fazу, необходимую для превращения глюкозы в витамин С. Витамин С хорошо растворяется, в том числе в воде, а, следовательно, усваивается организмом человека примерно на 70–80 %. Он проявляет разные биологические способности – антиоксидантную, прооксидантную, сопутствующего фактора, синергического эффекта [3, 4].

Специалисты считают, что матрицы молочного жира могут служить под-

ходящими носителями для функциональных ингредиентов, с минимальным воздействием на органолептические и физико-химические характеристики. Употребление продуктов питания с витамином С является единственным способом поддержания физиологических потребностей человека. В этой связи осуществляются исследования по определению влияния аскорбиновой кислоты, используемой для обогащения, на характеристики качества молочной продукции [5, 6].

Существует достаточное количество исследований, посвященных разработке и оценке эффективности молочной продукции, обогащенной функциональными пищевыми ингредиентами [7–10], однако необходимы соответствующие научные разработки относительно продуктов на основе высокожирных сливок.

Следовательно, **целью работы выступает проведение исследований органолептических, физико-химических и микробиологических характеристик качества продукта из сливок повышенной жирности и плодового сырья (черники, ирги, крыжовника), обогащенного витамином С, полученного с использованием механоакустического оборудования.**

Материалы и методы исследований. Основные технологические операции изготовления экспериментального продукта включают:

1. Получение сливок: сырое молоко подогревали (40–45 °C), сепарировали с получением сливок и обезжиренного молока при массовой доле жира соответственно 48,0 и 0,05 %; нормализовали до массовой доли жира 33,0 % с добавлением казеината натрия.

2. Получение продукта: смешивали полуфабрикат из плодового сырья и нормализованные сливки, используя механоакустическое оборудование МАГ-50; смесь обрабатывали при температуре 72–75 °C в течение 24–26 мин [11]; аскорбиновую кислоту вносили в смесь за 5 минут до окончания процесса обработки.

3. Продукт фасовали и укупоривали, используя стеклянные банки вместимостью 250 см³. Затем охлаждали и хранили при температуре 18±2 °C. Срок хранения составлял 7 месяцев в защищенном от прямых солнечных лучей месте.

Расход сырья на изготовление продукта составил (в процентах): сливки (массовая доля жира 48 %) – 60,24; молоко обезжиренное (массовая доля жира 0,05 %) – 27,43; полуфабрикат плодового сырья (массовая доля растворимых сухих веществ не менее 11,2 %) – 11,45; аскорбиновая кислота (массовая доля сухих веществ 99,9 %) – 0,55; казеинат натрия (массовая доля сухих веществ 94 %) – 0,33.

При определении количества вносимого физиологически функционального пищевого ингредиента учитывали Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, утвержденные приказом Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. Согласно указанным рекомендациям, норма потребления взрослым человеком в год сливок с жирностью 15 % составляет 3 кг. Соответственно потребление сливок с жирностью 33 % должно составлять 1,36 кг или 3,75 г в сутки.

Также руководствовались положениями ГОСТ Р 52349–2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения», согласно которому суточное количество продукции должно содержать 10–50 % от суточной физиологической потребности физиологически функционального пищевого ингредиента. Нами были учтены Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации, утвержденные Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 22 июля 2021 г. (МР 2.3.1.0253–21), определяющие физиологическую суточную потребность взрослого человека в витамине С на уровне 100 мг.

Определение в продукте содержания (наличия) жира, органических кислот, в том числе аскорбиновой, фосфатазы, а также бактерий *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, группы кишечной палочки, рода *Salmonella*, мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов осуществляли стандартными методами.

Органолептическую оценку продукта проводили по разработанной шкале:

1) коэффициенты весомости за внешний вид и консистенцию; цвет; запах, вкус и послевкусие составляют соответственно 0,3; 0,1 и 0,6;

2) за отличный; хороший; удовлетворительный и неудовлетворительный уровни качества соответственно выше 4,17; от 3,18 до 4,17; от 2,18 до 3,17; ниже 2,18 баллов.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью дисперсионного анализа (ANOVA); различия между средними значениями – с помощью теста Тьюки; силу влияния факторов – методом Сnedекора.

Результаты исследований и их обсуждение. В таблице 1 и на рисунке 1 представлены результаты проведенных исследований физико-химических и органолептических показателей продукта.

Установлено, что ягодная культура более чем на 94 % ($p < 0,01$) оказывала влияние на содержание органических кислот в продукте, динамическую вязкость, а также органолептические оценки за цвет, запах, вкус и послевкусие, тогда как на содержание жира (в среднем 33,3 %) и витамина С (в среднем 362,808 мг/100 г), органолептические оценки за внешний вид и консистенцию (в среднем 1,4 балла) она оказывала воздействие случайного характера ($p > 0,05$).

Таблица 1 – Изменения физико-химических показателей продукта из сливок повышенной жирности в процессе хранения ($n = 3$)

Table 1 – Changes in the physico-chemical parameters of the high-fat cream product during storage ($n = 3$)

Показатели	Ягодная культура	Срок хранения, мес.		
		0 (а)	6 (б)	7 (с)
Массовая доля жира, %	черника (А)	33,3±0,1 ^c	33,2±0,1	33,1±0,1 ^a
	ирга (В)	33,3±0,1 ^c	33,2±0,1	33,1±0,1 ^a
	крыжовник (С)	33,3±0,1 ^c	33,2±0,1	33,1±0,1 ^a
Кислотность, °Т	черника (А)	18,1±0,1 ^{bсBC}	18,3±0,1 ^{acBC}	18,6±0,1 ^{abBC}
	ирга (В)	18,0±0,1 ^{bсAC}	18,2±0,1 ^{acAC}	18,5±0,1 ^{abAC}
	крыжовник (С)	21,0±0,1 ^{bсAB}	21,2±0,1 ^{acAB}	21,5±0,1 ^{abAB}
Массовая концентрация витамина С, мг/100 г	черника (А)	358,892±5,464 ^{bc}	282,807±4,305 ^{ac}	160,424±2,442 ^{ab}
	ирга (В)	360,215±7,448 ^{bc}	285,097±5,906 ^{ac}	162,097±3,352 ^{ab}
	крыжовник (С)	369,317±3,730 ^{bc}	289,012±2,920 ^{ac}	168,296±1,697 ^{ab}

Примечание: различия средних значений существенны ($p < 0,05$).

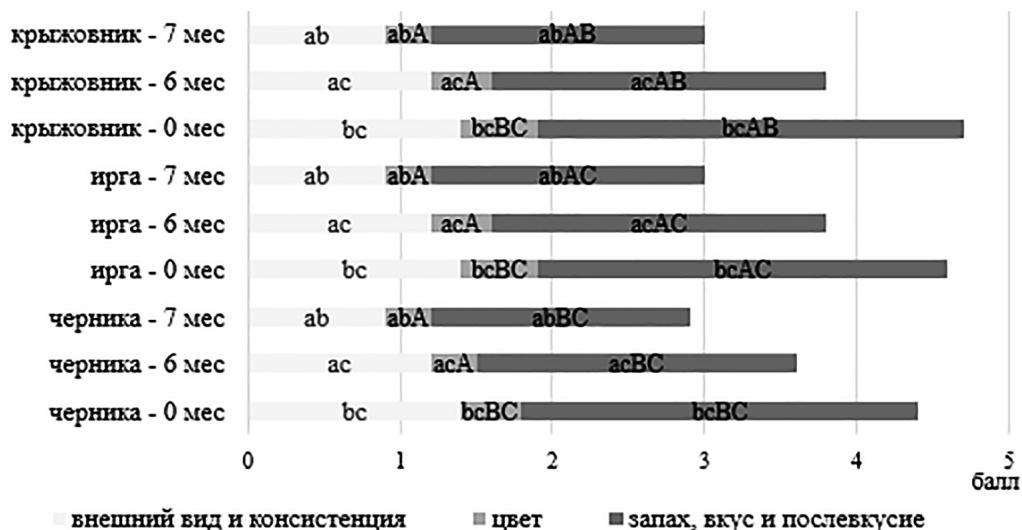
Продукт, содержащий в своем составе ягоды крыжовника, по количеству титруемых кислот (21,0 %) превосходил в среднем в 1,16 и 1,17 раза соответственно продукты с плодами черники и ирги ($p < 0,05$).

По величине динамической вязкости при температуре 20 °C продукты из полуфабриката ягодной культуры ранжировались следующим образом ($p < 0,05$): крыжовника (21,1±0,6 мПа·с) > черники (14,8±0,3 мПа·с) > ирги (11,0±0,5 мПа·с).

Оценки за показатель «цвет» у продуктов с использованием полуфабриката из плодов ирги и крыжовника (в среднем 0,46 баллов) значимо выше ($p < 0,05$), чем из черники (0,43 баллов), из-за присутствия в последних серо-сиреневых тонов, что видно из рисунка 2.

За оценки запаха, вкуса и послевкусия продукты из полуфабриката ягодной культуры ранжировались следующим образом ($p < 0,05$): крыжовника (2,8 баллов) > ирги (2,7 баллов) > черники (2,6 баллов).

Срок хранения оказывал значимое влияние на изменения содержания жира в продукте (сила влияния от 85,7 до 92,8 %, $p < 0,01$), органических кислот, в том числе аскорбиновой, а также оценки за органолептические показатели (сила влияния 99,9 %, $p < 0,01$).



различия средних значений существенны ($p < 0,05$):

A–C – по ягодной культуре; a–c – по сроку хранения

the differences in the average values are significant ($p < 0.05$):

A–C – for berry culture; a–c – for shelf life

Рисунок 1 – Изменения оценок за органолептические показатели продукта из сливок повышенной жирности в процессе хранения (n = 5)

Figure 1 – Changes in organoleptic assessments of high-fat cream products during storage (n = 5)



черника (blueberries)

ирга (serviceberry)

крыжовник (gooseberries)

Рисунок 2 – Внешний вид и консистенция, цвет продукта из сливок повышенной жирности

Figure 2 – Appearance, consistency, color of the product made from high-fat cream

Количество жира в продукте по истечении 6 месяцев хранения значимо не различалось от первоначального содержания ($p > 0,05$); 7 месяцев – существенно различалось (сохранность продукта составила 99,5 %, $p < 0,05$). После 6 и 7 месяцев хранения продукт содержал соответственно в среднем на 1,0 и 2,8 % больше от первоначального количества органических

кислот ($p < 0,01$), но на 21,2 и 45,9 % меньше аскорбиновой кислоты ($p < 0,01$).

На момент изготовления по внешнему виду и консистенции продукт представлял собою вязкую, гомогенную массу, обладающую коричневой окраской, равномерной по всей массе. По истечении 6 месяцев хранения продукт терял однородность своей массы и равномерность

окраски за счет появления сбившихся комочков жира (потери оценок 21,4 и 14,3 % за показатели «внешний вид и консистенция» и «цвет» соответственно), а по истечении 7 месяцев масса становилась более густой, неравномерность окраски увеличивалась, потери оценок за исследуемые показатели в среднем составили 35,7 %.

Продукт обладал ароматом сливок, пастеризации, с тонами, присущими используемому плодовому сырью (черники, ирги, крыжовника). Для продукта характерны сладко-кислый вкус, насыщенное и длительное послевкусие сливок; тона,ственные плодам указанных ягод. В процессе хранения запах, вкус и послевкусие становились менее выраженным, поэтому по истечении 6 месяцев хранения оценки за данный показатель варьировались от 2,1 до 2,2 баллов (сохранность 80,4 %), 7 месяцев – от 1,7 до 1,8 баллов (сохранность 65,3 %).

На момент изготовления продукты относились к «отличной» категории качества, вне зависимости от используемого плодового сырья – от 4,46 до 4,73 баллов. После 6 месяцев хранения была характерна «хорошая» категория качества (от 3,72 до 3,83 баллов); по истечении 7 месяцев она стала «удовлетворительной» (от 2,94 до 3,00 баллов).

В исследуемых образцах продукта на момент выработки и по истечении 7 месяцев хранения отсутствовали фосфатаза, бактерии *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы, плесневые грибы, что свидетельствует о соответствии ее требованиям действующей нормативной документации, включая технические регламенты

Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» и ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Установлено, что по истечении 7 месяцев хранения продукта категория качества по органолептическим характеристикам становилась «удовлетворительной», а содержание витамина С оказалось менее рекомендуемого (в среднем 163,605 против 266,600 мг/100 г).

Полученные в результате проведенных исследований данные о влиянии особенностей состава ягодной культуры, например, ее биохимического состава, на формирование качественных характеристик молочной продукции, в том числе из сливок, и о последующих изменениях продукции в процессе хранения, согласуются с данными других исследований [12–14].

Заключение. Для получения продукта из сливок повышенной жирности (33 %), содержащего витамин С в среднем 285,6 мг/100 г и обеспечивающего не менее 10 % суточной его потребности, обладающего оригинальными органолептическими характеристиками, целесообразно использовать механоакустическое оборудование (МАГ-50, Россия).

Скорость вращения ротора диспергатора должна составлять 2 900 об/мин, мешалки – 10 об/мин; температура – 72–75 °C; время обработки – 24–26 минут.

Рекомендуется использовать плодовый полуфабрикат (черники, ирги, крыжовника) и аскорбиновую кислоту в количестве соответственно не менее 11,45 и 0,55 %. Характеристики качества продукта в стеклянных банках сохраняются на протяжении 6 месяцев при температуре не выше 20 °C, в защищенном от прямых солнечных лучей месте.

Список источников

1. Топникова Е. В., Никитина Ю. В. Масляные пасты как современный жировой продукт здорового питания // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 1. С. 76–83. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-1-1>. EDN HVDOGZ.
2. Liu Z., Rochfort S. Lipidomics in milk: recent advances and developments // Current Opinion in Food Science. 2023. Vol. 51. P. 101016. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101016>.
3. Sobczak A., Danowska-Oziewicz M., Ząbek K. Effect of vitamin C fortification on the quality of cow's and goat's yoghurt // Food Science & Nutrition. 2022. Vol. 10 (11). P. 3621–3626. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2959>.

4. Yin X., Chen K., Cheng H. Chemical stability of ascorbic acid integrated into commercial products: A review on bioactivity and delivery technology // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11 (1). P. 153. <https://doi.org/10.3390/antiox11010153>.
5. Феофилактова О. В., Заворожина Н. В. Коктейли на основе молочной сыворотки с инкапсулированным витамином С // Молочная промышленность. 2021. № 12. С. 38-40. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-12-38-40>. EDN GAEGOO.
6. Znamirowska A., Szajnar K., Pawlos M. Effect of vitamin C source on its stability during storage and the properties of milk fermented by *Lactobacillus rhamnosus* // *Molecules*. 2021. Vol. 26 (20). P. 6187. <https://doi.org/10.3390/molecules26206187>.
7. Аббазова В. Н., Школьникова М. Н., Карх Д. А. Влияние ферментолизованного тыквенного пюре на активность пробиотической микрофлоры и органолептические показатели кисломолочной продукции // Индустрия питания. 2024. Т. 9. № 4. С. 51–57. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-4-6>. EDN ONJDYO.
8. Дунченко Н. И., Янковская В. С., Купцова С. В. Разработка технологии творожного сыра, обогащенного криопорошком репы // Сыроделие и маслоделие. 2023. № 4. С. 48–51. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-15>. EDN HVTUSG.
9. Решетник Е. И., Максимюк В. А., Уточкина Е. А. Изучение возможности создания белкового продукта, содержащего функциональные добавки на основе растительного сырья Дальнего Востока // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 4 (23). С. 51–55. EDN OJGNFH.
10. Синявский Ю. А., Туйгунов Д. Н., Капышева У. Н. Влияние приема специализированного пищевого продукта на молочно-фруктовой основе на биохимические показатели крови и состояние антиоксидантного статуса спортсменов // Вопросы питания. 2024. Т. 93. № 5 (555). С. 43–56. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-5-43-56>. EDN BBKLYP.
11. Голуб О. В., Мотовилова Н. В., Лобачева Е. М., Мотовилов О. К., Давыденко Н. И. Оптимизация условий получения продукта из сливок повышенной жирности // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2025. Т. 14. № 1 (69). С. 92–99. EDN LKJRYJ.
12. Hashemi S. M. B., Gholamhosseinpour A., Barba F. J. *Rosmarinus officinalis* L. essential oils impact on the microbiological and oxidative stability of Sarshir (Kaymak) // *Molecules*. 2023. No. 28 (10). P. 4206. <https://doi.org/10.3390/molecules28104206>.
13. Yildirim M., Å-zer E. D. Physico-chemical and microbiological changes occurring in Kuru Kaymak (a traditional dairy product in Turkey) during storage // Indian Journal of Dairy Science. 2022. Vol. 75 (1). P. 62–67. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2022.v75i01.009>.
14. Ziarno M., Kozłowska M., Ratusz K., Hasalliu R. Effect of the addition of selected herbal extracts on the quality characteristics of flavored cream and butter // *Foods*. 2023. Vol. 12 (3). P. 471. <https://doi.org/10.3390/foods12030471>.

References

1. Topnikova E. V., Nikitina Yu. V. Butter pastes as a modern fatty product of healthy nutrition. *Syrodelie i maslodelie*, 2024;1:76–83. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-1-1>. EDN HVDOGZ (in Russ.).
2. Liu Z., Rochfort S. Lipidomics in milk: recent advances and developments. *Current Opinion in Food Science*, 2023;51:101016. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101016>.
3. Sobczak A., Danowska-Oziewicz M., Ząbek K. Effect of vitamin C fortification on the quality of cow's and goat's yoghurt. *Food Science & Nutrition*, 2022;10(11):3621–3626. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2959>.
4. Yin X., Chen K., Cheng H. Chemical stability of ascorbic acid integrated into commercial products: A review on bioactivity and delivery technology. *Antioxidants*, 2022;11(1):153. <https://doi.org/10.3390/antiox11010153>.
5. Feofilaktova O. V., Zavorokhina N. V. Whey-based cocktails with encapsulated vitamin C. *Molochnaya promyshlennost'*, 2021;12:38–40. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-12-38-40>. EDN GAEGOO (in Russ.).

6. Znamirowska A., Szajnar K., Pawlos M. Effect of vitamin C source on its stability during storage and the properties of milk fermented by *Lactobacillus rhamnosus*. *Molecules*, 2021;26(20):6187. <https://doi.org/10.3390/molecules26206187>.
7. Abbasova V. N., Shkolnikova M. N., Karkh D. A. Influence of fermented pumpkin puree on the activity of probiotic microflora and organoleptic parameters of fermented milk products. *Industriya pitaniya*, 2024;9;4:51–57. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-4-6>. EDN ONJDYO (in Russ.).
8. Dunchenko N. I., Yankovskaya V. S., Kuptsova S. V. Development of technology for producing curd cheese enriched with turnip cryopowder. *Syrodelie i maslodelie*, 2023;4:48–51. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-15>. EDN HVTUSG (in Russ.).
9. Reshetnik E. I., Maksimyuk V. A., Utochkina E. A. Studying the possibility of creating a protein product containing functional additives based on plant materials from the Far East. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2011;4(23):51–55. EDN OJGNFH (in Russ.).
10. Sinyavskiy Yu. A., Tuygunov D. N., Kapysheva U. N. The effect of taking a specialized food product based on milk and fruit on biochemical parameters of blood and the state of antioxidant status of athletes. *Voprosy pitaniya*, 2024;93;5(555):43–56. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-5-43-56>. EDN BBKLYP (in Russ.).
11. Golub O. V., Motovilova N. V., Lobacheva E. M., Motovilov O. K., Davydenko N. I. Optimization of conditions for obtaining a product from high-fat cream. *XXI vek: itogi proshloga i problemy nastoyashchego plus*, 2025;14;1(69):92–99. EDN LKJRYJ (in Russ.).
12. Hashemi S. M. B., Gholamhosseinpour A., Barba F. J. *Rosmarinus officinalis* L. essential oils impact on the microbiological and oxidative stability of Sarshir (Kaymak). *Molecules*, 2023;28(10):4206. <https://doi.org/10.3390/molecules28104206>.
13. Yildirim M., Å-zer E. D. Physico-chemical and microbiological changes occurring in Kuru Kaymak (a traditional dairy product in Turkey) during storage. *Indian Journal of Dairy Science*, 2022;75(1):62–67. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2022.v75i01.009>.
14. Ziarno M., Kozłowska M., Ratusz K., Hasalliu R. Effect of the addition of selected herbal extracts on the quality characteristics of flavored cream and butter. *Foods*, 2023;12(3):471. <https://doi.org/10.3390/foods12030471>.

© Голуб О. В., Мотовилова Н. В. Мотовилов О. К., 2025

Статья поступила в редакцию 20.07.2025; одобрена после рецензирования 28.08.2025; принята к публикации 02.09.2025.

The article was submitted 20.07.2025; approved after reviewing 28.08.2025; accepted for publication 02.09.2025.

Информация об авторах

Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, ORCID: 0000-0003-2561-9953, Author ID: 299690, golubov@sfsc.ru;

Мотовилова Наталья Владимировна, младший научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, ORCID: 0000-0002-2249-7666, Author ID: 1127163, motovilovanv@sfsc.ru;

Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, ORCID: 0000-0003-2298-3549, Author ID: 388694, motovilovok@sfsc.ru

Information about authors

Olga V. Golub, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-2561-9953, Author ID: 299690, golubov@sfscra.ru;

Natalya V. Motovilova, Junior Researcher, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0002-2249-7666, Author ID: 1127163, motovilovanv@sfscra.ru;

Oleg K. Motovilov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-2298-3549, Author ID: 388694, motovilovok@sfscra.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 631.214:519.8

EDN LAFFTS

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-78-83>

Математическая модель для анализа работы метантенка

Михаил Пурбаевич Таханов¹, Николай Вадимович Петров²

^{1, 2} Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ takhanov93@mail.ru, ² petnikvad1988@mail.ru

Аннотация. В статье представлена математическая модель, разработанная на основе анализа физико-химических и биологических закономерностей, характерных для процессов преобразования органического вещества. Она учитывает ключевые параметры, такие как скорость разложения субстрата, объем выделяемого биогаза и время, необходимое для достижения максимального выхода продукта. Методологический подход основан на системном анализе, включающем последовательные этапы теоретического исследования, математического моделирования и экспериментальной верификации. Теоретический анализ базируется на детальном изучении процесса движения метаногенных микроорганизмов внутри метантенка при выработке биогаза. Ключевым параметром при этом является максимальный выход биогаза. В результате исследования научной литературы определены основные факторы, влияющие на процесс анаэробного сбраживания свиного навоза в метантенке. При этом особое внимание уделяется исследованию влияния кислотно-щелочного баланса на активность метаногенных микроорганизмов. Установлено, что отклонения показателя кислотности от оптимального значения приводят к существенному снижению скорости образования биогаза, что необходимо учитывать при проектировании биогазовых установок. Зависимости параметров выхода биогаза от указанных факторов позволяют сформулировать основные принципы процесса преобразования органического вещества.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, биогаз, метантенк, гидродинамические возмущения, субстрат, константа скорости сбраживания

Для цитирования: Таханов М. П., Петров Н. В. Математическая модель для анализа работы метантенка // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 78–83.
<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-78-83>.

Original article

Mathematical model for analyzing the operation of a methane tank

Mikhail P. Takhanov¹, Nikolay V. Petrov²

^{1, 2} North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ takhanov93@mail.ru, ² petnikvad1988@mail.ru

Abstract. The authors present a mathematical model developed on the basis of physico-chemical and biological patterns of organic matter transformation processes. The model takes into account the rate of decomposition of the substrate, the volume of biogas released, and the time required to achieve maximum product yield. The methodological approach is based on a systematic analysis that includes the stages of theoretical research, mathematical modeling and experimental verification. The theoretical analysis is based on a detailed study of the movement of methanogenic microorganisms inside the methane tank during biogas production. The key parameter in this case is the maximum biogas output. As a result of the literature review, the main factors influencing the process of anaerobic digestion of pig manure in a methane tank have been

identified. It has been found that deviations of the acidity index from the optimal value lead to a significant decrease in the rate of biogas formation, which is important to take into account when designing biogas plants. The dependences of the biogas output parameters on these factors make it possible to formulate the basic principles of the organic matter transformation process.

Keywords: anaerobic fermentation, biogas, methane tank, hydrodynamic disturbances, substrate, fermentation rate constant

For citation: Takhanov M. P., Petrov N. V. Mathematical model for analyzing the operation of a methane tank. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:78–83. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-78-83>.

Предложенная нами математическая модель разработана на основе анализа физико-химических и биологических закономерностей, характерных для процессов преобразования органического вещества. Она учитывает ключевые параметры, такие как скорость разложения субстрата, объем выделяемого биогаза и время, необходимое для достижения максимального выхода продукта [1, 2].

Материалы и методы исследований. Зависимости параметров выхода биогаза от указанных факторов позволяют сформулировать три основных принципа процесса преобразования органического вещества, показанных на рисунке 1.

Для математического описания процесса разработано дифференциальное уравнение, основанное на работах В. П. Дроздяновой с соавторами [3, 4] и ВРК-модели [5], наиболее точно описыва-

ющее динамику накопления биогаза в реакторе. Уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{dG}{dt} = \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot (G_{max} - G(t)) \quad (1)$$

где η – коэффициент, учитывающий эффективность гидровозмущения субстрата; $k_{br}(pH)$ – pH-зависимая константа скорости;

G_{max} – предельный выход газа для конкретного типа субстрата;

$G(t)$ – текущий объем биогаза.

Важно отметить, что значение коэффициента, учитывающего эффективность гидровозмущения субстрата (η), составляет 1,2. Оно было установлено в ходе серии предварительных экспериментов. Полученное значение подтверждает значительное влияние гидродинамики на интенсивность процесса.

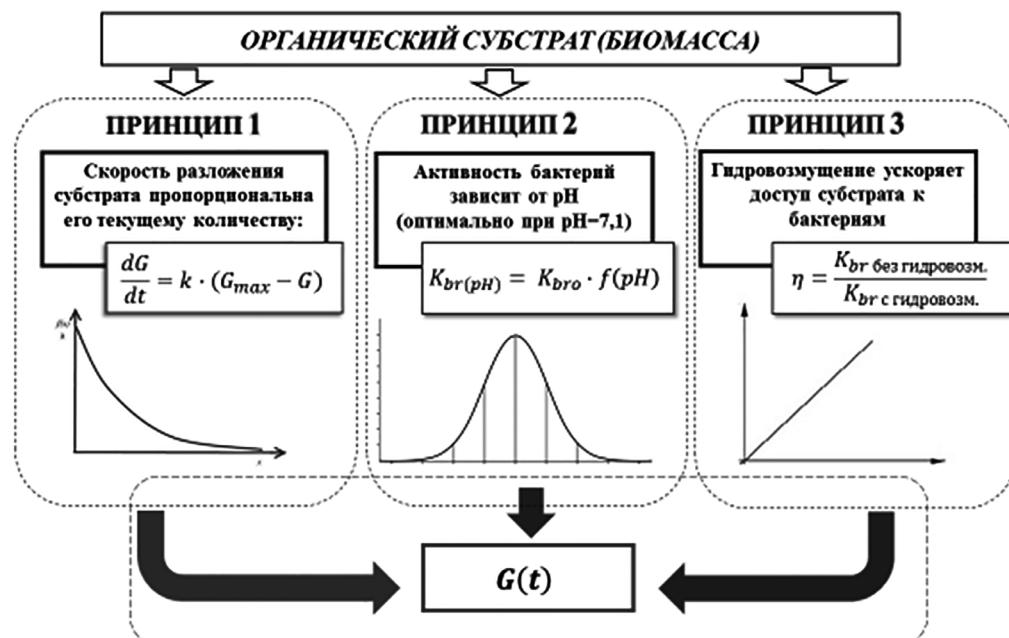


Рисунок 1 – Ключевые принципы для разработки математической модели

Figure 1 – Key principles for developing a mathematical model

В свою очередь, константа скорости от pH среды описывается функциональной зависимостью (2):

$$k_{br}(pH) = f \left(k_{bro}; \alpha(pH); f(pH); \frac{\bar{m}}{m_0} \right) \quad (2)$$

где $\alpha(pH)$ – корректирующий коэффициент, учитывающий влияние кислотности на скорость подачи субстрата.

Анализ данной зависимости показывает, что при значениях pH ниже 6,3 происходит резкое торможение процесса; в то время как в диапазоне от 6,8 до 7,2 наблюдается максимальная активность метаногенных бактерий.

Учитывая сложности поиска точных значений необходимых показателей в научной литературе, нами были проведены экспериментальные исследования для определения гидродинамических воздействий внутри метантенка.

Задачей разрабатываемой математической модели является формирование системы оптимизации, которая включает три ключевых критерия:

1. Максимальный выход биогаза ($G_{max} \rightarrow \max$).
2. Поддержание стабильности процесса ($\Delta pH \rightarrow \min$).
3. Снижение энергетических затрат ($E_{гидров} \rightarrow \min$).

Так как любая модель предусматривает ограничения или стремление к максимальным (оптимальным) значениям, для упрощения расчетов в инженерных приложениях применяется математический аппарат, включающий регрессионный анализ и методы оптимизации с несколькими критериями, в том числе аппроксимацию методом наименьших квадратов.

При этом ΔpH выступает ключевым параметром в модели, связывающим динамику поступления свежего органического материала (свиного навоза) с текущим уровнем кислотности в реакторе. Без учета данного коэффициента математическое моделирование процессов анаэробного сбраживания теряет физико-химическую достоверность.

Снижение энергетических затрат ($E_{гидров}$) производится за счет интенсификации процесса анаэробного сбраживания. В результате, экономия электроэнергии происходит с помощью получаемого биогаза, который идет на поддержание рабочей температуры в метантенке, что, в свою очередь, снижает затраты на электроэнергию до 90 %.

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 2 представлена технологическая схема работы метантенка с ее ключевыми параметрами.

На основе этих параметров составим уравнение модели. Для этого примем, что

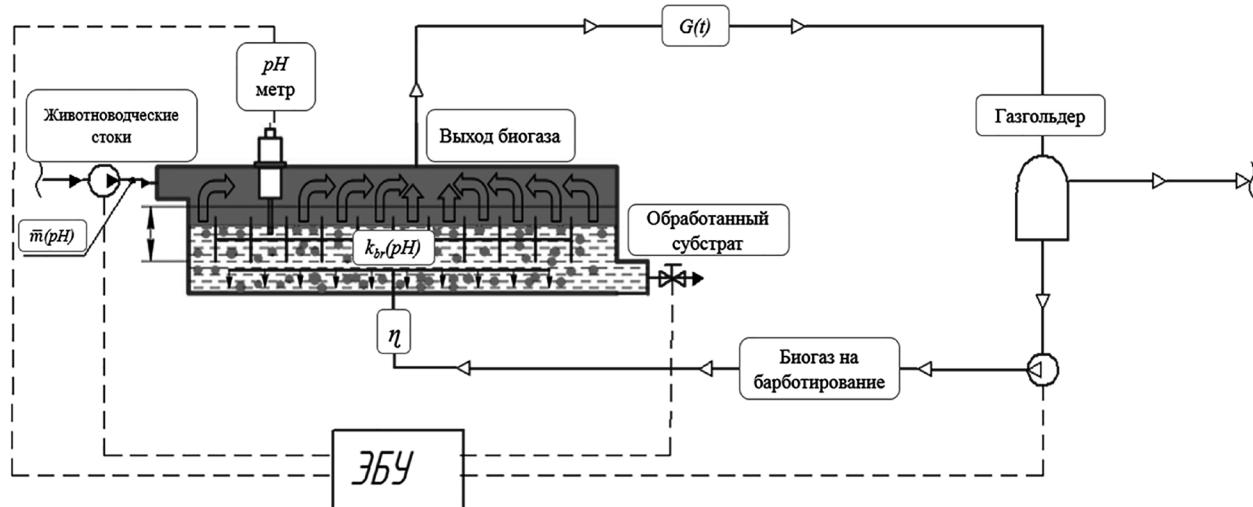


Рисунок 2 – Технологическая схема работы метантенка
Figure 2 – Technological scheme of a methane tank operation

скорость образования биогаза пропорциональна скорости разложения перерабатываемого субстрата. Пусть $G(t)$ – объем выделенного биогаза к моменту времени t , а G_{\max} – максимальный объем биогаза, который может быть получен из данного субстрата. Тогда скорость выделения биогаза можно описать дифференциальным уравнением (3):

$$\frac{dG}{dt} = \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot (G_{\max} - G) \quad (3)$$

где η – коэффициент эффективности перемешивания ($\eta > 1$);

$k_{br}(pH)$ – константа скорости сбраживания, день^{-1} ;

G_{\max} – максимальный объем биогаза, который может быть получен из данного субстрата, м^3 ;

G – объем выделенного биогаза на текущий момент времени t , м^3 .

Разделим переменные и перенесем все члены, содержащие G , в левую часть, а dt – в правую часть:

$$\frac{dG}{G_{\max} - G} = \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot dt$$

Проинтегрируем обе части уравнения (левую – по G , а правую – по t):

$$\int \frac{dG}{G_{\max} - G} = \int \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot dt$$

Вычислим левый и правый интеграл:

$$\int \frac{dG}{G_{\max} - G} = -\ln|G_{\max} - G| + C_1$$

$$\int \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot dt = \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot t + C_2$$

В приведенных выражениях C_1 и C_2 выступают постоянными интегрирования.

Объединяя результаты интегрирования и константы:

$$-\ln|G_{\max} - G| = \eta \cdot k_{br}(pH) \cdot t + C$$

В данном выражении C представляет разность между C_2 и C_1 (константа интегрирования).

Убираем логарифм, для чего выполним умножение обеих частей выражения на минус единицу и возьмем экспоненту:

$$G_{\max} - G = e^{-\eta \cdot k_{br}(pH) \cdot t - C}$$

Определим постоянную интегрирования при $t = 0$, $G(0) = 0$ (в начальный момент биогаз еще не выделился). Подставим в уравнение:

$$G_{\max} - 0 = e^{-C}, \text{ откуда } e^{-C} = G_{\max}$$

Далее подставляем e^{-C} обратно в уравнение:

$$G_{\max} - G = G_{\max} \cdot e^{-\eta \cdot k_{br}(pH) \cdot t}$$

Выразим величину $G(t)$:

$$G(t) = G_{\max} \cdot (1 - e^{-\eta \cdot k_{br}(pH) \cdot t}) \quad (4)$$

Полученное таким образом уравнение (4) описывает изменение объема образуемого биогаза G с течением времени t .

Для применения данной математической модели к предложенной конструкции метантенка необходимо определить максимальный объем биогаза (G_{\max}), так как любая модель предусматривает ограничения или стремление к максимальным (оптимальным) значениям. В свою очередь, G_{\max} зависит от концентрации органических веществ в субстрате, которые могут быть разложены метаногенными микроорганизмами.

В этой связи известна следующая формула для расчета теоретически максимального выхода биогаза [6, 7]:

$$G_{\max} = m \cdot COB \cdot B_0 \quad (5)$$

где m – масса субстрата, кг;

COB – содержание органического вещества в субстрате, доли единицы;

B_0 – удельный выход биогаза для данного типа органического вещества, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Заключение. Разработанная математическая модель изменения объема образуемого биогаза с течением времени позволяет прогнозировать производительность метантенка и оптимизировать его режим работы по параметрам оптимальной кислотности и образования биогаза. Это существенно повышает эффективность работы биогазовых установок за счет нескольких ключевых факторов:

1. Обеспечение автоматической оптимизации нагрузки на реактор с предотвращением как перегрузки системы, так и ее недогрузки.

2. Надежная защита установки от кислотных сбоев, которые являются основной причиной остановки технологического процесса.

3. Максимизация выхода биогаза с увеличением производительности на 15–

20 % по сравнению с обычными методами управления.

Формула (4) не требует сложных вычислений и может быть легко интегрирована в существующие системы автоматизированного управления технологическими процессами. При этом модель сохраняет достаточную гибкость для адаптации к конкретным условиям эксплуатации и типам используемого сырья.

Список источников

1. Патент № 2678673 С1. Российская Федерация. Установка для анаэробного сбраживания : № 2017132640 : заявл. 18.09.2017 : опубл. 30.01.2019 / Таханов М. П., Васильев Ф. А., Ильин С. Н., Евтеев В. К. Бюл. № 4. 8 с.
2. Таханов М. П., Васильев Ф. А. Создание возмущений в метантенке // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. Вып. 80. С. 143–148. EDN ZFHRRN.
3. Друзьянова В. П., Петрова С. А. Технология производства биогаза из органического сырья в условиях Якутии : монография. М. : Научное обозрение, 2014. 171 с.
4. Друзьянова В. П. Параметры, характеризующие энергетическую сторону процесса анаэробного сбраживания в накопительной биоэнергетической установке // Проблемы и перспективы подготовки специалистов для промышленно-хозяйственного комплекса : материалы республиканской науч.-практ. конф. Якутск, 2004. С. 78–81.
5. Anaerobic digestion model No. 1 (ADM 1) by IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes. IWA Publishing, 2005. <https://doi.org/10.2166/9781780403052>.
6. Ковалев А. А., Ножевникова А. Н. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения. М. : Знание, 1990.
7. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Пермь : Пермский государственный университет, 2003. 19 с.

References

1. Takhanov M. P., Vasiliev F. A., Ilyin S. N., Evteev V. K. Anaerobic digestion plant. Patent RF, No. 2678673. [patents.google.com](https://patents.google.com/patent/RU2678673C1/ru) 2019 Retrieved from <https://patents.google.com/patent/RU2678673C1/ru> (Accessed 20 May 2025) (in Russ.).
2. Takhanov M. P., Vasiliev F. A. Creation of perturbations in a methane tank. Vestnik Irkutskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii, 2017;80:143–148. EDN ZFHRRN (in Russ.).
3. Druzyanova V. P., Petrova S. A. *Technology of biogas production from organic raw materials in Yakutia: monograph*, Moscow, Nauchnoe obozrenie, 2014, 171 p. (in Russ.).
4. Druzyanova V. P. Parameters characterizing the energy side of the anaerobic digestion process in a bioenergy storage plant. Proceedings from Problems and prospects of training specialists for the industrial and economic complex: *Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 78–81), Yakutsk, 2004 (in Russ.).
5. Anaerobic digestion model No. 1 (ADM 1) by IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Processes, IWA Publishing, 2005. <https://doi.org/10.2166/9781780403052>.

6. Kovalev A. A., Nozhevnikova A. N. *Technological lines for recycling livestock waste into biogas and fertilizers*, Moscow, Znanie, 1990 (in Russ.).

7. *Recommendations on the calculation of biogas generation and the selection of degassing systems for landfills of solid household waste*, Perm', Permskii gosudarstvennyi universitet, 2003, 19 p. (in Russ.).

© Таханов М. П., Петров Н. В., 2025

Статья поступила в редакцию 19.08.2025; одобрена после рецензирования 12.09.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 19.08.2025; approved after reviewing 12.09.2025; accepted for publication 15.09.2025.

Информация об авторах

Таханов Михаил Пурбаевич, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, takhanov93@mail.ru;

Петров Николай Вадимович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0002-8927-7828, Author ID: 904371, petnikvad1988@mail.ru

Information about the authors

Mikhail P. Takhanov, Senior Lecturer of the Department of Operation of Motor Transport and Auto Repair, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, takhanov93@mail.ru;

Nikolay V. Petrov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Operation of Motor Transport and Auto Repair, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, ORCID: 0000-0002-8927-7828, Author ID: 904371, petnikvad1988@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 664.951.4:613.2

EDN GAVUJU

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-84-95>

Консервированные продукты из сельди тихоокеанской и их значение в питании человека

Лидия Васильевна Шульгина¹, Евгений Валентинович Якуш²,
Александр Русланович Бутенко³

^{1, 2, 3} Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Приморский край, Владивосток, Россия

¹ lvshulgina@mail.ru

Аннотация. Сельдь тихоокеанская является одним из основных промысловых видов рыб, рекомендуемый объем вылова которой составляет около 500 тыс. т. Содержание жира в сельди тихоокеанской может достигать 18,0 %. Жир ее представляет богатый источник полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3. В данной статье исследован липидный спектр сельди тихоокеанской и изготовленных из нее традиционных видов консервов (натуральных и натуральных с добавлением масла). Содержание жира в натуральных консервах из сельди составляло 15,3 %, в консервах с добавлением масла – 21,4 %, в том числе 7,0 % из которых представлены подсолнечным маслом. Основной класс липидов в сельди и в консервах представлен триацилглицеринами (67,9–73,1 %). Превалирующей группой жирных кислот в липидах сельди и консервах на ее основе являлись мононенасыщенные (более 50,0 % от общей суммы жирных кислот). В 100 г содержимого консервов количество полиненасыщенных жирных кислот n-3 достигало 2,2–2,4 г, сумма эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот составляла 1,7–2,2 г/100 г продукта. Такой уровень указанных кислот в продуктах позволяет удовлетворить физиологические потребности организма человека на 70,0–93,0 %, а в эссенциальных жирных кислотах – на 100 %. Для оценки положительного воздействия консервов согласно рекомендуемых методов были определены пищевые индексы качества липидов. Их расчет показал способность консервов на основе сельди тихоокеанской проявлять диетические свойства при использовании в питании, оказывать потенциальное положительное воздействие на холестериновый обмен и скорость тромбообразования в сосудах человека.

Ключевые слова: сельдь тихоокеанская, жир, биологическая эффективность, полиненасыщенные жирные кислоты, пищевые индексы качества липидов

Благодарности: данную работу авторы начинали вместе с нашим коллегой, кандидатом химических наук Константином Геннадьевичем Павелем; в работе использованы его данные по составу липидов и жирных кислот в сельди тихоокеанской и консервах; уважаемый специалист и прекрасный химик К. Г. Павель ушел из жизни 21 июня 2024 г.; мы благодарны ему за многолетнее успешное сотрудничество.

Для цитирования: Шульгина Л. В., Якуш Е. В., Бутенко А. Р. Консервированные продукты из сельди тихоокеанской и их значение в питании человека // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 84–95. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-84-95>.

Original article

Canned Pacific herring products and their importance in human nutrition

Lidiya V. Shulgina¹, Evgeniy V. Yakush², Alexander R. Butenko³

^{1, 2, 3} Pacific branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography Primorsky krai, Vladivostok, Russian Federation

¹ lvshulgina@mail.ru

Abstract. Pacific herring is one of the main commercial fish species, the recommended catch volume of which is about 500.0 thousand tons. The fat content in Pacific herring can reach 18.0%. Its fat is a rich source of omega-3 polyunsaturated fatty acids. In this work, the lipid spectrum of Pacific herring and traditional types of canned food made from it (natural and natural with added oil) was studied. The fat content in natural canned herring was 15.3%, in canned food with added oil – 21.4%, including 7.0% of which are sunflower oil. The main class of lipids in herring and canned food is triacylglycerols (67.9–73.1%). The predominant group of fatty acids in the lipids of herring and canned products based on it were monounsaturated (more than 50.0% of the total amount of fatty acids). In 100 g of the canned product contents, the amount of polyunsaturated fatty acids n-3 reached 2.2–2.4 g, the sum of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids was 1.7–2.2 g/100 g of product. This level of these acids in the products makes it possible to meet the physiological needs of the human body by 70.0–93.0%, and in essential fatty acids – by 100%. To assess the positive impact of canned products according to the recommended methods, food indices of lipid quality were determined. Their calculation showed the ability of canned products based on Pacific herring to exhibit dietary properties when used in nutrition, to have a potential positive effect on cholesterol metabolism and the rate of thrombus formation in human vessels.

Keywords: *Glutea pallasii*, fat, biological efficiency, polyunsaturated fatty acids, food quality indices of lipids

Acknowledgments: the authors started this work together with our colleague, Candidate of Chemical Sciences Konstantin Gennadyevich Pavel; his data on the composition of lipids and fatty acids in Pacific herring and canned food were used in the work; respected specialist and excellent chemist K. G. Pavel passed away on June 21, 2024; we are grateful to him for many years of successful cooperation.

For citation: Shulgina L. V., Yakush E. V., Butenko A. R. Canned Pacific herring products and their importance in human nutrition. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:84–95. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-84-95>.

Введение. Сельдь тихоокеанская (*Clupea pallasii* Valenciennes in Cuvier et Valensiennes, 1847) является одним из основных промысловых видов пелагических рыб в дальневосточных морях. Ее запасы очень значительные и в последние годы позволяют вылавливать около 500,0 тыс. тонн рыбы [1].

Сельдь тихоокеанская относится к высокожирным рыбам, при этом содержание жира в ней может достигать до 18,0 % и более [2]. Основная часть жира сельди локализуется в ее тушке. Жирность сельди тихоокеанской закономерно возрастает в период нагула и снижается в преднерестовом и нерестовом состоянии рыбы. Наибольшее содержание жира отмечается в рыбе старших возрастов и большего размера тела. Вода и белки в пищевых тканях сельди имеют меньшие колебания, чем количество жира. Белки мышечной ткани сельди тихоокеанской содержат весь набор аминокислот. Аминокислотный состав белков сельди, определяющий биологическую ценность рыбы, аналогичен их соста-

ву в пищевых тканях других морских рыб. Лимитирующими аминокислотами в ее мышечной ткани являются серосодержащие. Основной класс липидов сельди представлен триацилглицеринами, содержание которых достигает не менее 70,0 % от их общей суммы; вторыми по количеству выступают фосфолипиды – до 10,0 % [2]. Состав жирных кислот сельди тихоокеанской зависит от биологического состояния рыбы, ее возраста, периода и района промысла. Преобладающей группой жирных кислот в сельди тихоокеанской являются мононенасыщенные (МНЖК).

Основные уловы сельди тихоокеанской направляются на производство консервов, пресервов и продукции с пониженным содержанием воды. Известно, что высокотемпературное консервирование жирных видов рыб является одним из щадящих способов обработки в отношении липидов [3]. Было показано, что при стерилизации жирной рыбы снижение содержания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) за счет термогидролиза не

превышало 5–7 %. Это связано с тем, что консервы стерилизуют в закрытых банках под вакуумом при температуре, составляющей 115–120 °С, что значительно ниже температуры кулинарной обработки (180–220 °С). В консервах отсутствует кислород, инактивированы микробные и тканевые ферменты, поэтому при их стерилизации и хранении не происходит окислительных процессов, исключается накопление продуктов перекисного окисления липидов. Рыбные консервы хранятся длительное время (до 36 мес.) в нерегулируемых температурных условиях без изменения качества. Поэтому их производство является одним из рациональных способов переработки больших объемов промысловых рыб, а также важным способом доставки потребителю ценных рыбных липидов.

Поскольку наиболее массовыми видами консервов, выпускаемыми из сельди тихоокеанской, являются натуральные и натуральные с добавлением масла, то особый интерес представляет жировой компонент этих продуктов и их значение в питании человека.

Целью работы явилось изучение липидного профиля традиционных видов консервов из сельди тихоокеанской, а также оценка его положительного воздействия на здоровье человека.

Материалы и методы исследований. Для получения консервов были использованы мороженая сельдь тихоокеанская и изготовленные из нее консервы. Рыба была заморожена в блоках массой по 10,0 кг; срок хранения составлял не более 2 месяцев при температуре минус 18 °С.

Подготовку проб к анализу и определение содержания воды, белков, жира и минеральных веществ осуществляли стандартными методами в соответствии с требованиями ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Изучение фракционного состава липидов проводили методом тонкослойной хроматографии на аналитических пластинах «Sorbfil» (Сорбполимер, Россия) в системе растворителей гексан/диэтиловый эфир/уксусная кислота – 70:30:2 (по объему) в качестве элюента. Для проявления хроматограмм применяли 10-процентный спиртовой раствор фосфорномолибде-

новой кислоты с последующим нагреванием пластинок при температуре 110 °С. Идентификацию отдельных классов липидов проводили методом сравнения с нанесенными на пластинку стандартными соединениями. Для количественного определения использовали программное обеспечение ImageJ [4, 5].

Для изучения состава жирных кислот липиды переводили в метиловые эфиры жирных кислот [6], которые после очистки препаративной тонкослойной хроматографией анализировали на хроматографе Shimadzu GC-14B с использованием капиллярной колонки SupelcowaxTM 10 (30,0 м × 0,32 мм при толщине пленки 0,25 мкм, Supelco) и пламенно-ионизационного детектора при температуре колонки 190 °С и температуре инжектора и детектора 250 °С. В качестве газа-носителя использовали гелий со скоростью потока 1 мл/мин и делителем потока 1/60. Идентификацию жирных кислот проводили с использованием индексов эквивалентной длины цепи [7]. Содержание отдельных жирных кислот определяли по площадям пиков с помощью базы обработки данных Shimadzu Chromatopac C-R4A.

Для оценки биологической эффективности липидного компонента консервов из сельди тихоокеанской использовали рекомендуемые показатели, включая соотношения полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот, суммы полиненасыщенных жирных кислот (n-3) и суммы полиненасыщенных жирных кислот (n-6). Также применялись пищевые индексы качества липидов (health lipid indices): атерогенный (AI), тромбогенный (TI), гипохолестеринемический (H/H), общего качества липидов продукта (FLQ). В основу их расчетов положены соотношения отдельных групп и индивидуальных жирных кислот, которые выполняют различную физиологическую функцию и обусловливают положительное воздействие на организм человека [8–11].

Для обеспечения достоверности полученных экспериментальных данных аналитические определения проводили в трехкратной повторности с последующей обработкой полученных результатов методами математической статистики с использованием современных программных средств.

Результаты исследований и их обсуждение. Консервы из сельди тихоокеанской изготовлены в соответствии с требованиями ГОСТ 7452–2014 «Консервы из рыбы натуральные. Технические условия» и ГОСТ 13865–2000 «Консервы рыбные натуральные с добавлением масла. Технические условия». Состав традиционных видов консервов из сельди тихоокеанской приведен в таблице 1.

Технологический процесс изготовления консервов включал размораживание и подготовку рыбы, материалов и тары; фасование, эксгаустирование и закатывание банок; стерилизацию и охлаждение, мойку и сушку консервов. Соответствующие операции выполнялись согласно технологических инструкций по производству рыбных консервов [12].

Изготовленные консервы из сельди тихоокеанской представляли собой продукты, которые по качеству соответствовали требованиям вышеуказанных госу-

дарственных стандартов; по показателям безопасности – Техническому регламенту Евразийского Союза 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции».

При изучении липидного спектра консервов для сравнения исследовали мышечную ткань сырой сельди тихоокеанской. Данные по содержанию жира и фракционный состав липидов приведены в таблице 2. В проведенном нами исследовании содержание жира в мышечной ткани сырой сельди тихоокеанской и в натуральных консервах из нее составляло 15,9 и 15,3 % соответственно; в консервах с добавлением масла – 21,4 %, в том числе 7,0 % за счет подсолнечного масла.

Преобладающим классом липидов как в сырой сельди, так и в консервах из нее, являлись триацилглицерины (табл. 2). В рыбе и в консервах отмечено высокое содержание свободных жирных кислот, что по-видимому, свойственно для сельди тихоокеанской. Содержание фосфолипи-

Таблица 1 – Норма закладки на одну банку консервов из сельди тихоокеанской
Table 1 – Standard per can of Pacific herring preserves

Компоненты	Содержание в одной банке консервов	
	натуральных	натуральных с добавлением масла
Сельдь тихоокеанская (кусочки), г	247,0	240,0
Масло подсолнечное, г	–	7,0
Соль, г	3,0	3,0
Перец душистый, шт.	–	1
Перец черный, шт.	1	1
Лавровый лист	–	1

Таблица 2 – Состав липидов мышечной ткани сельди тихоокеанской и консервов
Table 2 – Lipid composition of muscle tissue of Pacific herring and canned fish

В процентах (in percent)

Класс липидов	Содержание		
	в сырой сельди	в консервах натуральных	в консервах натуральных с добавлением масла
Общее содержание жира, г	15,9±0,7	15,3±0,7	21,4±0,9
Триацилглицерины	69,2±1,9	73,1±1,2	67,9±1,8
Моно- и диацилглицерины	1,8±0,3	2,3±0,6	4,1±0,7
Свободные жирные кислоты	11,9±3,4	12,5±2,3	13,7±3,1
Стерины	6,8±1,4	5,7±1,2	5,2±1,6
Эфиры стеринов	0,8±0,3	0,5±0,2	1,4±0,9
Полярные липиды (фосфолипиды)	8,9±0,5	5,1±0,7	4,2±0,4

дов в сельди составляло 8,9 %, тогда как в консервах их число было значительно ниже (4,2–5,1 %). Снижение фосфолипидов в изготовленных консервированных продуктах обусловлено потерей влиянием температуры стерилизации на высоконепредельные липиды.

Состав жирных кислот в липидах мышечной ткани сырой сельди тихоокеанской и в консервах приведен в таблице 3. Как видно, в рыбе и в консервах на ее основе соотношения отдельных жирных кислот были близкими. Но в жирно-кислотном спектре консервов из сельди отмечены различия, обусловленные как действием высокой температуры на них, так и присутствием в составе содержимого продуктов растительного масла.

Содержание насыщенных жирных кислот (НЖК) в сырой сельди тихоокеанской составляло 28,46 % от общей суммы жирных кислот. В готовых консервах их количество оказалось несколько выше: в натуральных – 30,93 %, натуральных с добавлением масла – 29,88 %. Известно, что НЖК с длинной цепью, в том числе лауриновая (C12:0), миристиновая (тетрадекановая, C14:0) и пальмитиновая (гексадекановая, C16:0), обладают способностью повышать концентрацию холестерина в крови человека [13, 14]. Другие НЖК являются биологически нейтральными или быстро окисляются в печени до ацетил-КоА.

Группа МНЖК как в липидах сырой сельди, так и в консервах доминировала; ее доля составляла более 50,0 % от общей суммы жирных кислот. Среди них отмечено высокое содержание олеиновой кислоты (18:1 n-9), которая очень необходима организму человека для нормального обмена веществ, поддержания энергии и построения клеточного скелета.

Основной группой среди ПНЖК в липидах сельди тихоокеанской и изготовленных из нее консервов являлись жирные кислоты семейства омега-3 (ПНЖК n-3). В этой группе преобладали эйкозапентеновая (ЭПК, 20:5 n-3) и докозагексаеновая (ДГК, 22:6 n-3) кислоты, обладающие высокими диетическими свойствами [15]. В консервах из сельди с добавлением масла содержание ПНЖК было выше, чем в ассортименте без масла. В них доминировала линолевая кислота (18:2 n-6), относящаяся к семейству омега-6 (ПНЖК n-6).

Она является основной жирной кислотой подсолнечного масла.

Содержание основных групп жирных кислот в 100 г мышечной ткани сельди тихоокеанской и изготовленных из нее консервов приведено в таблице 4.

Массовая доля жира в консервах из сельди с добавлением масла составляла $21,4 \pm 0,9$ % и была выше, чем в консервах без масла ($15,3 \pm 0,7$ %). Соответственно содержание всех отдельных групп жирных кислот в консервах с добавлением масла превышает их количество в ассортименте «консервы натуральные». Сумма ПНЖК и ПНЖК n-6 в консервах с добавлением масла значительно превышает таковую в натуральном продукте в результате повышения линолевой кислоты (18:2 n-6) из подсолнечного масла. Количество ПНЖК n-3 в этом ассортименте, наоборот, несколько ниже, что обусловлено меньшей нормой закладки сельди в продукт.

Известно, что рекомендуемый уровень суточного потребления ПНЖК n-3 для человека составляет 3 г, а эссенциальных жирных кислот (сумма ЭПК и ДГК) – 0,8–1,6 г [16, 17]. В соответствии с данными таблицы 4, оба варианта традиционных видов консервов из сельди тихоокеанской способны удовлетворить физиологические потребности организма человека в ПНЖК n-3 на 70,0–93,0 %, тогда как в ЭПК и ДГК – полностью.

Для оценки положительного влияния жирового компонента сельди тихоокеанской и изготовленных из нее консервов на здоровье человека были определены показатели их биологической эффективности, приведенные в таблице 5. В основу расчетов этих показателей (health lipid indices) положены соотношения отдельных групп жирных кислот, которые выполняют различную физиологическую функцию [8–11].

Показатель ПНЖК/НЖК традиционно используется для первичной оценки питательной ценности продуктов, поскольку он характеризует положительное воздействие на здоровье человека только ПНЖК, но не учитывает полезное влияние МНЖК [8]. Известно, что продукты с соотношением ПНЖК/НЖК ниже 0,45 считаются нежелательными для питания человека из-за их способности вызывать нарушение холестеринового обмена [18]. Несмотря на то, что липиды сельди и из-

Таблица 3 – Состав жирных кислот в липидах сельди тихоокеанской и в консервах из нее
Table 3 – Composition of fatty acids in lipids of Pacific herring and canned products from it

**В процентах от общей суммы жирных кислот
(in percent of the total amount of fatty acids)**

Жирная кислота	Содержание		
	в сырой сельди	в консервах натуральных	в консервах натуральных с добавлением масла
12:0	0,14	0,21	0,15
14:0	7,65	8,40	7,90
i-15:0	0,26	0,35	0,28
15:0	0,45	0,39	0,46
ai-16:0	0,33	0,30	0,38
16:0	17,58	18,91	18,41
i-17:0	0,17	0,12	0,14
ai-17:0	0,17	0,15	0,11
17:0	0,11	0,30	0,13
i-18:0	0,21	0,26	0,21
18:0	1,28	1,41	1,55
20:0	0,11	0,13	0,16
Сумма НЖКК	28,46	30,93	29,88
14:1 n-9	0,11	0,10	0,10
14:1 n-7	0,13	0,15	0,12
14:1 n-5	0,23	0,25	0,22
16:1 n-7	10,58	11,0	10,34
16:1 n-5	0,37	0,39	0,36
18:1 n-9	19,13	19,60	20,08
18:1 n-7	4,56	4,60	4,34
18:1 n-5	0,58	0,52	0,50
20:1 n-11	1,82	1,91	1,78
20:1 n-9	5,55	5,65	5,31
20:1 n-7	0,38	0,31	0,17
22:1 n-11	4,97	5,11	4,81
22:1 n-9	1,36	1,23	1,16
22:1 n-7	0,15	0,11	0,10
24:1 n-9	0,62	0,44	0,65
Сумма МНЖКК	50,54	51,37	50,04
16:2 n-6	0,11	0,09	0,07
16:2 n-4	1,75	1,47	1,38
16:3 n-3	0,53	0,47	0,44
16:4 n-1	0,24	0,21	0,18
18:2 n-6	1,19	1,04	5,65
18:3 n-9	0,10	0,07	0,03
18:3 n-3	0,57	0,52	0,48
18:4 n-3	1,51	1,27	1,19
20:4 n-6	0,27	0,23	0,22
20:4 n-3	0,43	0,39	0,36
20:5 n-3	6,69	5,86	5,40
21:5 n-3	0,17	0,12	0,08
22:5 n-3	0,37	0,31	0,29
22:6 n-3	6,23	5,55	5,03
Сумма ПНЖКК	20,16	17,6	20,08

Таблица 4 – Содержание отдельных групп жирных кислот в сельди тихоокеанской и в консервах**Table 4 – Content of individual groups of fatty acids in Pacific herring and in canned food**

Жирная кислота	Содержание					
	в сельди тихоокеанской		в консервах натуральных		в консервах натуральных с добавлением масла	
	%	г на 100 г продукта	%	г на 100 г продукта	%	г на 100 г продукта
Жир, г	–	15,9±0,7	–	15,3±0,7	–	21,4±0,9
Сумма НЖК	28,46	4,52	30,93	4,73	29,88	6,39
Сумма МНЖК	50,54	8,03	51,37	7,85	50,04	10,70
Сумма ПНЖК	20,16	3,20	17,60	2,69	20,08	4,30
Сумма ПНЖК n-3	16,50	2,62	14,41	2,20	13,27	2,84
Сумма ПНЖК n-6	1,57	0,25	1,36	0,20	5,94	1,27
Сумма ЭПК и ДГК	12,92	2,05	11,10	1,70	10,06	2,26

Примечание: проценты рассчитаны от общей суммы жирных кислот.

Таблица 5 – Пищевые индексы качества липидов сельди тихоокеанской и традиционных видов консервов из нее**Table 5 – Food quality indices of lipids of Pacific herring and traditional types of canned products from it**

Пищевые индексы качества липидов	Значения индексов		
	сельдь	консервы натуральные	консервы натуральные с добавлением масла
ПНЖК/НЖК	0,70	0,57	0,67
Сумма ПНЖК n-3/сумма ПНЖК n-6	10,50/1	10,58/1	2,23/1
IA (атерогенности)	0,70	0,78	0,72
IT (тромбогенности)	0,30	0,37	0,40
H/H (гипохолестеринемия/гиперхолестеринемия)	1,45	1,20	1,40
FLQ (общий индекс качества липидов)	13,30	11,64	10,64

готовленных из нее консервов характеризуются повышенным содержанием НЖК, первичные их показатели качества не относятся к уровням, характеризующим неблагоприятное влияние на организм человека.

Одним из достоверных показателей высокой ценности жира и эффективности жирных кислот в отношении сердечно-сосудистых заболеваний является соотношение количества ПНЖК n-3 и ПНЖК n-6. Известно, что употребление в пищу продуктов, содержащих большее количество ПНЖК n-3 относительно ПНЖК n-6, благоприятно оказывается на здоровье человека [8, 19]. Согласно рекомендаций Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, величина указанного соотношения в рационе человека должна составлять не менее 1/5, а рациональным

значением считается 1/3–1/2, для пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы – 1,0/1,5 [20]. Для липидов сельди тихоокеанской и консервов из нее эти показатели очень высокие, что указывает на потенциальную возможность проявления как профилактического, так и лечебного эффекта данных продуктов.

Индекс атерогенности (IA) характеризует взаимосвязь между количеством проатерогенных (C12:0, C14:0 и C16:0) и антиатерогенных (МНЖК + ПНЖК) жирных кислот в продуктах [8]. Для организма человека очень полезно потребление продуктов с более низким значением индекса атерогенности, так как они способствуют снижению уровня холестерина и липопротеинов низкой плотности в плазме крови и предотвращают образование бляшек

в сосудах. Индексы атерогенности для сельди тихоокеанской и консервов из нее находятся в пределах 0,7–0,78, что ниже многих продуктов и сопоставимо с индексами для некоторых видов рыб и диетического мяса животных [11, 13]. Например, для мяса кеты этот индекс составляет 0,92, хека – 1,02.

Индекс тромбогенности (IT) характеризует влияние жирных кислот на свертываемость крови и указывает на склонность к образованию тромбов в сосудах [8, 13]. Продукты, липиды которых имеют низкие значения данного индекса, способствуют снижению тромбообразования в сосудах и риску развития заболеваний сердечно-сосудистой системы. Известно, что способностью снижать скорость образования тромбов в сосудах обладают ненасыщенные жирные кислоты (МНЖК + ПНЖК).

В сельди тихоокеанской общая сумма соответствующих кислот составляла 70,0 %, в консервированных продуктах на ее основе – 68,97–70,12 %. Высокое содержание ненасыщенных жирных кислот в консервах обусловливает низкие значения *IT* (0,37–0,4). Ранее проведенные определения показали, что для рыбных жиров величина данного индекса находится в пределах 0,14–0,87, мясных продуктов – 0,29–1,69, молочных – 0,39–4,65 [11].

Гипохолестеринемический индекс (Н/Н) характеризует взаимосвязь между гипохолестеринемическими (18:1 + сумма ПНЖК n-3 + сумма ПНЖК n-6) и гиперхолестеринемическими (14:0 + 16:0) жирными кислотами. Он позволяет более точно оценить влияние жирно-кислотного состава продуктов на метаболизм холестерина и развитие сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Повышенное значение данного индекса характеризует способность снизить риск развития нарушений холестеринового обмена у человека. Данный индекс для ранее исследованных рыб находился между 0,65 и 2,46 [11, 18]. Значение его для сельди тихоокеанской и традиционных видов консервов на ее основе составляло от 1,2 до 1,45, что характеризует потенциальное положительное действие их жирового компонента на метаболизм холестерина в организме человека.

Индекс качества липидов мышечной ткани (FLQ) представляет собой процентное содержание ЭПК и ДГК от общего

количества липидов. Чем выше значение этого индекса, тем выше качество источника липидов в рационе (рыбы, мяса или других продуктов) [21]. Для консервов из сельди тихоокеанской эти показатели близки и находились в пределах от 10,64 до 11,64. Они были выше, чем для многих продуктов, в которых присутствуют ЭПК и ДГК в небольших количествах или отсутствуют полностью [11]. Таким образом, жировой компонент традиционных видов консервов на основе сельди тихоокеанской характеризуется показателями качества липидов, обосновывающими их потенциальное защитное действие на организм человека.

Заключение. Проведенные исследования показали, что традиционные виды консервов из сельди тихоокеанской (натуральные и натуральные с добавлением масла) характеризуются высоким содержанием жира и являются богатыми источниками ненасыщенных жирных кислот.

Содержание МНЖК в консервах на основе сельди тихоокеанской достигало 50,0–51,3 % от общей суммы жирных кислот, ПНЖК – 17,6–20,0 %. Превалирующей группой (не менее 70,0 %) являлись ПНЖК n-3, в том числе ЭПК и ДГК. Количество ПНЖК n-3 в 100 г содержимого консервов составляло 2,2–2,8 г, что способно обеспечить физиологические потребности организма человека в них на 70–93 %, а в эссенциальных жирных кислотах, включающих ЭПК и ДГК, – полностью (1,7–2,2 г на 100 г продукта).

Пищевые индексы качества липидов показали способность консервов из сельди тихоокеанской проявлять диетические свойства при использовании в рационе питания. Показатели ПНЖК/НЖК и (сумма ПНЖК n-3/сумма ПНЖК n-6) в липидном профиле сельди и консервов свидетельствуют о способности их оказывать защитный эффект в отношении сердечно-сосудистых заболеваний. Низкие значения индексов атерогенности и тромбогенности, а также высокие значения общего индекса качества липидов и гипохолестеринемического показателя характеризуют потенциальное положительное воздействие консервов из сельди тихоокеанской на холестериновый обмен и скорость тромбообразования в сосудах человека.

Список источников

1. Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыболовохозяйственного бассейна – 2024. Владивосток : ТИНРО, 2024. 210 с.
2. Технохимическая характеристика и рациональное использование промысловых гидробионтов Дальневосточного бассейна : монография / под ред. В. Н. Акулина, Л. В. Шульгиной. Владивосток : ТИНРО, 2022. 273 с. EDN OAUPMO.
3. Шульгина Л. В., Давлетшина Т. А., Павловский А. М. Консервы из сайры тихоокеанской – источник полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 // Известия ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 235–242. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2017-191-235-242>. EDN ZUFHLB.
4. Laggai S., Simon Y., Ranssweiler T., Kiemer A. K., Kessler S. M. Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // World Journal of Hepatology. 2013. Vol. 5. No. 10. P. 558–567. <https://doi.org/10.4254/wjh.v5.i10.558>.
5. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceiri K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of Image analysis // Nature Methods. 2012. Vol. 9. No. 7. P. 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.
6. Carreau J. P., Dubacq J. P. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // Journal of Chromatography A. 1978. Vol. 151. No. 3. P. 384–390. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)88356-9](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)88356-9).
7. Christie W. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography a reappraisal // Journal of Chromatography A. 1988. Vol. 447. No. 3. P. 305–314. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)91490-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)91490-6).
8. Ulbricht T. L. V., Southgate D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors // The Lancet. 1991. Vol. 338. No. 8773. P. 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-m).
9. Pleadin J., Lesic T., Kresic G., Baric R., Bogdanovic T., Oraic D., Zrncic S. Nutritional quality of different fish species farmed in the Adriatic sea // Italian Journal of Food Science. 2017. Vol. 29. No. 3. P. 537–549.
10. Kocatepe D., Emin Erdem M., Keskin I., Kostekli B. Differences on lipid quality index and amino acid profiles of European anchovy caught from different area in Turkey // Ukrainian Journal of Food Science. 2019. Vol. 7. No. 1. P. 6–15. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2019-7-1-3>.
11. Chen J., Liu H. Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21. No. 16. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>.
12. Сборник технологических инструкций по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных объектов. Том 2. СПб. : Судостроение, 2012. 272 с.
13. Garaffo M. A., Vassallo-Agius R., Nengas Y., Lembo E., Rando R., Maisano R. [et al.]. Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted product "Bottarga" // Food and Nutrition Sciences. 2011. Vol. 2. No. 7. P. 736–743. doi: 10.4236/fns.2011.271017.
14. Perna M., Hewlings S. Saturated fatty acid chain length and risk of cardiovascular disease: A systematic review // Nutrients. 2023. Vol. 15. No. 1. P. 30. <https://doi.org/10.3390/nu15010030>.
15. Плотникова Е. Ю., Синькова М. Н., Исаков Л. К. Роль омега-3 ненасыщенных кислот в профилактике и лечении различных заболеваний // Лечащий врач. 2018. № 8. С. 56–61. EDN XYWDAT.
16. МР 2.3.1.0253–21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М. : Роспотребнадзор, 2021. 72 с.
17. Решетник Е. И., Уточкина Е. А. Реализация принципа сбалансированности жирно-кислотного состава многокомпонентного пищевого модуля // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2016. № 2–3 (350–351). С. 66–69. EDN WDHTTT.
18. Fernandes C. E., Vasconcelos M. A., de Almeida Ribeiro M., Sarubbo L. A., Andrade S. A. C., de Melo Filho A. B. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil // Food Chemistry. 2014. Vol. 160. P. 67–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.055>.

19. Simopoulos A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids // Biomedicine and Pharmacotherapy. 2002. Vol. 56. P. 365–379.
20. Kresic G. Nutritional information on restaurant menus // Food Science & Nutrition Technology. 2017. Vol. 2. No. 4. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000130>.
21. Abrami G., Natiello F., Bronzi P., McKenzie D., Bolis L., Agradi E. A comparison of highly unsaturated fatty acid levels in wild and farmed eels (*Anguilla anguilla*) // Comparative Biochemistry and Physiology. 1992. Vol. 1. No. 2. P. 71–82.

References

1. *The state of commercial resources of the Far Eastern Fisheries Basin – 2024*, Vladivostok, TINRO, 2024, 210 p. (in Russ.).
2. Akulin V. N., Shulgina L. V. (Eds.). *Technochemical characteristics and rational use of commercial aquatic organisms of the Far Eastern basin: monograph*, Vladivostok, TINRO, 2022, 273 p. EDN OAUPMO (in Russ.).
3. Shulgina L. V., Davletshina T. A., Pavlovsky A. M. Canned Pacific saury is a source of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Izvestiya TINRO*, 2017;191:235–242. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2017-191-235-242>. EDN ZUFHLB (in Russ.).
4. Laggai S., Simon Y., Ranssweiler T., Kiemer A. K., Kessler S. M. Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH. World Journal of Hepatology, 2013;5;10:558–567. <https://doi.org/10.4254/wjh.v5.i10.558>.
5. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceiri K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of Image analysis. Nature Methods, 2012;9;7:671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.
6. Carreau J. P., Dubacq J. P. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts. Journal of Chromatography A, 1978; 151;3:384–390. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)88356-9](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)88356-9).
7. Christie W. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography a reappraisal. Journal of Chromatography A, 1988;447;3:305–314. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)91490-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)91490-6).
8. Ulbricht T. L. V., Southgate D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. The Lancet, 1991;338;8773:985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-m).
9. Pleadin J., Lesic T., Kresic G., Baric R., Bogdanovic T., Oraic D., Zrncic S. Nutritional quality of different fish species farmed in the Adriatic sea. Italian Journal of Food Science, 2017; 29;3:537–549.
10. Kocatepe D., Emin Erdem M., Keskin I., Kostekli B. Differences on lipid quality index and amino acid profiles of European anchovy caught from different area in Turkey. Ukrainian Journal of Food Science, 2019;7;1:6–15. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2019-7-1-3>.
11. Chen J., Liu H. Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. International Journal of Molecular Sciences, 2020;21;16. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>.
12. *Collection of technological instructions for the production of canned food and preserves from fish and non-fish objects. Vol. 2*, Saint-Petersburg, Sudostroenie, 2012, 272 p. (in Russ.).
13. Garaffo M. A., Vassallo-Agius R., Nengas Y., Lembo E., Rando R., Maisano R. [et al.]. Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted product "Bottarga". Food and Nutrition Sciences, 2011;2;7:736–743. doi: 10.4236/fns.2011.27101/.
14. Perna M., Hewlings S. Saturated fatty acid chain length and risk of cardiovascular disease: A systematic review. Nutrients, 2023;15;1:30. <https://doi.org/10.3390/nu15010030>.
15. Plotnikova E. Yu., Sinkova M. N., Isakov L. K. The role of omega-3 unsaturated acids in the prevention and treatment of various diseases. *Lechashchii vrach*, 2018;8:56–61. EDN XYWDAT.
16. Norms of physiological energy and nutritional requirements for various population groups of the Russian Federation. (2021) MR 2.3.1.0253–21. *Garant.ru* Retrieved from <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> (Accessed 20 May 2025) (in Russ.).

17. Reshetnik E. I., Utochkina E. A. Implementation of the principle of balanced fatty acid composition of a multicomponent food module. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya*, 2016;2–3(350–351):66–69. EDN WDHTT (in Russ.).
18. Fernandes C. E., Vasconcelos M. A., de Almeida Ribeiro M., Sarubbo L. A., Andrade S. A., de Melo Filho A. B. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food Chemistry*, 2014;160:67–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.055>.
19. Simopoulos A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 2002;56:365–379.
20. Kresic G. Nutritional information on restaurant menus. *Food Science & Nutrition Technology*, 2017;2;4. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000130>.
21. Abram G., Natiello F., Bronzi P., McKenzie D., Bolis L., Agradi E. A comparison of highly unsaturated fatty acid levels in wild and farmed eels (*Anguilla anguilla*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1992;1;2:71–82.

© Шульгина Л. В., Якуш Е. В., Бутенко А. Р., 2025

Статья поступила в редакцию 06.07.2025; одобрена после рецензирования 05.09.2025; принята к публикации 08.09.2025.

The article was submitted 06.07.2025; approved after reviewing 05.09.2025; accepted for publication 08.09.2025.

Информация об авторах

Шульгина Лидия Васильевна, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией технологии переработки гидробионтов, Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, ORCID 0000-0002-1767-0129, Author ID: 484469, lvshulgina@mail.ru:

Якуш Евгений Валентинович, кандидат химических наук, первый заместитель руководителя, Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, ORCID: 0000-0001-7837-5943, evyakush@mail.ru:

Бутенко Александр Русланович, ведущий специалист лаборатории технологии переработки гидробионтов, Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, ORCID: 0009-0008-2528-4122, alexandr.butenko@tinro.vniro.ru

Information about the authors

Lidiya V. Shulgina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Hydrobiont Processing Technology, Pacific branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, ORCID: 0000-0002-1767-0129, Author ID: 484469, lvshulgina@mail.ru:

Evgeny V. Yakush, Candidate of Chemical Sciences, First Deputy Head, Pacific branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, ORCID: 0000-0001-7837-5943, evyakush@mail.ru:

Alexander R. Butenko, Leading Specialist of the Laboratory of Hydrobiont Processing Technology, Pacific branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, ORCID: 0009-0008-2528-4122, alexandr.butenko@tinro.vniro.ru

Вклад авторов:

Шульгина Л. В. – обоснование работ, оценка и анализ результатов исследований, написание статьи;

Якуш Е. В. – планирование работ, обсуждение результатов исследований;

Бутенко А. Р. – выполнение технологических исследований, обработка данных

Contribution of the authors:

L. V. Shulgina – justification of the work, evaluation and analysis of research results, writing an article;

E. V. Yakush – work planning, discussion of research results;

A. R. Butenko – performing technological research, data processing

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

ПОРЯДОК НАПРАВЛЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНЫМ СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В ЖУРНАЛЕ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК»

Представленные к публикации статьи должны содержать результаты неопубликованных законченных научных исследований, представлять научную новизну и иметь практическую значимость.

Редакция журнала принимает статьи по следующим научным специальностям:

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки).

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки).

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки).

4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (биологические науки, ветеринарные науки).

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки, сельскохозяйственный науки).

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

Авторы несут ответственность за соблюдение прав третьих лиц, достоверность сведений, используемых в материалах статьи и достоверность источников, указанных в работе.

Принимаются оригинальные научные статьи, неопубликованные ранее и не отправленные для публикации в другие издания. Проверка на оригинальность проводится в системе «Антиплагиат». Минимальный уровень оригинальности текста – 80 %. Самоцитирование, как и цитирование других авторов, должно быть обоснованным и соответствовать тематике, целям и задачам научной работы.

Допускается самоцитирование в объеме не более 10 %.

Объем научной статьи должен составлять не менее 25 000 знаков с пробелами, что приблизительно соответствует 15–16 страницам текста, набранного шрифтом размером 14 пт, полуторным межстрочным интервалом, включая текст таблиц и аннотацию (в подсчет не включается список источников и переведенный текст).

При подаче статьи авторы указывают: ФИО полностью, место работы, должность, ученое звание, степень, контактную информацию (телефон, e-mail, почтовый адрес для отправки печатной версии журнала).

Обязательно – Author ID (идентификатор автора в РИНЦ).

Желательно – ORCID (международный, открытый идентификатор исследователя и автора). Регистрация на сайте <https://orcid.org/>

Принимается рукопись статьи, имеющая не более 5 авторов.

Структура статьи должна быть разбита на логично взаимосвязанные разделы с использованием следующих подзаголовков: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Заключение», «Список источников». Во введении в обязательном порядке указывается цель исследования, в заключении приводятся выводы.

В аннотации указывают существо проведенных автором научных исследований, выполненные автором работы и полученные результаты. Аннотация должна показывать научную новизну и практическую значимость проведенного исследования. Структура аннотации аналогична структуре статьи. *Рекомендуемый объем аннотации – от 200 до 250 слов. При подготовке аннотации необходимо соблюдать следующие правила:*

1) аннотация излагается тезисно, простыми короткими предложениями; при этом начинать каждое предложение рекомендуется с глагола в прошедшем времени (*исследовано..., проведен анализ..., доказано..., обосновано... и т. д.*);

2) при изложении аннотации нужно использовать простые речевые обороты, не усложнять и не загромождать текст сложными конструкциями; не приводить примеры;

3) аннотация не должна содержать дополнительную интерпретацию или критические замечания автора статьи; в ней также не должно быть информации, которой нет в статье;

4) в аннотации не следует приводить мнения ученых по научной проблеме, делать их аналитический обзор, давать ссылки на использованные источники;

5) необходимо избегать употребления личных местоимений (*нами выполнено, мы доказали, на наш взгляд, мы полагаем и т. д.*); следует выражаться обезличено;

6) в аннотации не допускается дословное повторение формулировок научной статьи, простое копирование ее положений;

7) в аннотации запрещается разрывать текст на абзацы, а также использовать иллюстрации, таблицы, формулы и сноски.

Текст научной статьи должен быть тщательно вычитан и отредактирован. При этом в процессе редакционно-издательской обработки в текст могут вноситься изменения лингвистического характера, а также изменения в части соответствия представления текста требованиям государственных стандартов.

Текст научной статьи набирается в текстовом редакторе с использованием формата листа А4. Размеры полей листа: верхнее, нижнее и правое – по 20 мм; левое – 25 мм. Используется шрифт Times New Roman с кеглем 14 пт (в отношении таблиц, рисунков размер шрифта может понижаться, но не ниже, чем 10 пт; формул – не ниже, чем 12 пт). Принимается полуторный междустрочный интервал (при подготовке таблиц, рисунков, формул допускается одинарный интервал). *Автоматическая расстановка переносов не устанавливается.*

До основного текста статьи приводят на языке текста статьи, а затем повторяют на английском языке (кроме УДК) следующую информацию:

- код УДК;
- через одну строку: *название статьи* (строчными буквами (с первой прописной), полужирным начертанием шрифта, с выравниванием по центру, без абзацного отступа);
- через одну строку: *имя, отчество (при наличии) и фамилия автора (полностью)*;
- на следующей строке – *полное наименование организации, являющейся местом работы (учебы) автора, с указанием региона, города и страны; адреса электронной почты автора*;
- в случае нескольких авторов статьи информация повторяется для каждого автора в отдельности; при этом, если все авторы статьи работают (обучаются) в одной организации, место работы (учебы) каждого автора отдельно не указывается;
- через одну строку – *Аннотация*;
- на следующей строке – *Ключевые слова*. Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 5 и больше 10 слов (словосочетаний), отражающих предметную и терминологическую область статьи.

После ключевых слов – *Благодарности*, где приводят слова благодарности организациям, научным руководителям и другим лицам, оказавшим помочь в проведении исследования, подготовке статьи, а также сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи.

При изложении текста статьи необходимо соблюдать правила:

1. В тексте статьи картинки и фотографии применяются только в случае необходимости, с учетом научной значимости изображения.
2. Рисунки, диаграммы, графики – не цветные. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. В отдельных случаях, исходя из научной целесообразности, допускается включение цветного изображения.
3. Таблицы, формулы, диаграммы, блок-схемы приводить только в редактируемом формате. Не допускается вставка данных объектов в виде картинок, фотографий, сканированных изображений. Рекомендуется приложить к тексту статьи файлы, в которых содержатся соответствующие объекты, выполненные в программах Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio.
4. При размещении диаграммы следует подписывать оси, указывая соответствующие величины и их размерность; приводить легенду; а, по возможности, и подписи данных.
5. При создании математических формул допускается использовать «Редактор уравнений» Microsoft Word, либо специализированную программу Math Type не ниже седьмой версии. Не следует применять редактор формул Microsoft Equation.
6. В тексте допустимо использование только общепринятых сокращений, установленных правилами русского языка, и общезвестных аббревиатур; в остальных случаях – автор обязательно должен давать расшифровку. Это же касается и обозначений, приводимых в формулах, блок-схемах.
7. Подписи к изображениям, рисункам, таблицам, графикам, диаграммам повторяются на английском языке.

При оформлении списка источников следует учитывать:

1. Список источников должен включать только те источники, которые были использованы при проведении исследования и подготовке статьи.
2. Список источников – не менее 10 и не более 20 источников, в том числе
 - не менее 50 % ссылок на публикации из периодических изданий – журналов за последние 5 лет;
 - не менее 30 % ссылок – на публикации из ядра РИНЦ;
 - допускается не более 10 % ссылок старше 10 лет; ссылки на такие источники должны быть логически обоснованы;
 - ссылки на материалы конференции – не более 3 лет после опубликования материалов;
 - в числе источников должно быть не менее 20 % зарубежных публикаций.

3. В список источников **не включаются** неопубликованные работы, учебники и учебные пособия, тезисы материалов конференций, сведения о положительных решениях и заявках на получение патентов на изобретения и полезные модели, диссертации. При необходимости сослаться на результаты диссертационного исследования – в списке приводятся журнальные статьи, опубликованные по результатам исследования или автореферат диссертации.

4. Не рекомендуется ссылаться на издания, недоступные для большинства читателей и не имеющие авторства (ведомственные издания и инструкции, ГОСТ, СНИП, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и журналах, общепринятые методики, официальные сайты и т. д.). Ссылка на данные документы оформляется в тексте (заключаются в круглые скобки) или оформляется подстрочными ссылками в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008.

5. При ссылке на нормативный документ обязательно указывать дату его принятия, номер и название нормативного акта.

6. Список источников оформляют в соответствии с ГОСТ 7.0.5–2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

При этом нужно учесть, что в заголовке описания источника (перед названием) указываются все авторы. В случае, если авторов больше шесть, то указывают первые шесть авторов и далее ставится приписка и др. Менять очередность авторов в изданных источниках не допускается.

7. Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. В тексте ссылки на цитируемую литературу приводятся в квадратных скобках в конце предложения перед точкой, с указанием порядкового номера ссылки и страницы, например: [2], [1, С. 15]. При отсутствии ссылки в тексте, при редакционно-издательской обработке источник будет удален из списка.

8. Библиографическое описание источника приводится на языке, на котором он опубликован.

9. Ссылки должны быть верифицированы, выходные данные проверены на официальном сайте журналов или издавательств, в РИНЦ.

10. При наличии идентификатора статьи DOI и (или) EDN – он приводится в обязательном порядке в конце библиографического описания источника.

11. Ссылка на электронный ресурс должна отсылать читателя непосредственно на цитируемый источник, а не на страницу сайта, где он размещен.

12. Если журнал издается только в электронном виде – ссылка оформляется на электронный ресурс, с указанием даты обращения к источнику.

Информация об авторах статьи. По каждому автору статьи необходимо привести:

- фамилия, имя и отчество (при наличии) – полностью;
- учennую степень (при наличии);
- ученое звание (при наличии);
- для авторов, не имеющих ученоой степени и ученоого звания, указывается занимаемая должность (например, младший научный сотрудник, старший преподаватель и т. д.);
- если автором является обучающийся, указывается категория обучающегося (например, аспирант, студент магистратуры и т. д.);
- наименование организации, являющейся основным местом работы (учебы);
- адрес электронной почты.

Вклад авторов. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов, приводят после «Информации об авторах». Кратко описывается личный вклад каждого автора (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи и т. д.) либо указывается – все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Приводится информация о конфликте интересов либо его отсутствии. Автор обязан уведомить редакцию о реальном или потенциальном конфликте интересов. Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом. Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

Обращаем внимание, что переводятся на английский язык: информация об авторах, аннотация, ключевые слова, благодарности, подписи к изображениям, рисункам, таблицам, графикам, диаграммам.

Электронная версия статьи передается по электронной почте на адрес издания:
dvagrovestnik@dalgau.ru

При наличии замечаний по научной статье, они направляются автору на указанный им адрес электронной почты. Автор обязуется ответить на замечания в течение пяти рабочих дней с даты получения письма или связаться с редакцией с просьбой продления срока. В противном случае автор несет риск неопубликования статьи в текущем номере издания.

РЕДАКЦИЯ:

Михайлов А. А. – редактор, ведущий специалист по редакционно-издательской подготовке Центра публикационной активности Дальневосточного ГАУ;

Сысоенко В. В. – переводчик, ст. преподаватель кафедры гуманитарных дисциплин Дальневосточного ГАУ.

675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, каб. 301,
редакция журнала «Дальневосточный аграрный вестник»

тел. (факс) (4162) 995127

тел. (4162) 995115 – главный редактор; e-mail: tikhonchukp@rambler.ru

тел. (4162) 995147 – редакция журнала; e-mail: DVagrovestnik@dalgau.ru