

**ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ
ВЕСТНИК**

**FAR EASTERN AGRICULTURAL
JOURNAL**

Том 19
Номер 4
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. № 4 Октябрь – Декабрь 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; Емельянов А. Н., канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., директор ФГБНУ «ФНЦ агроинженерии и технологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск; Клыков А. Г., д-р биол. наук, профессор, академик РАН, ФГБНУ «ФНЦ агроинженерии и технологий 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 Тианду, 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; Труши 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; Шарвадзе 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/94054/</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 № 1119 по состоянию на 25.11.2025)</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 60x90/8. Уч.-изд. л. 9,37. Тираж 600 экз. Заказ 172. Подписано к печати 16.12.2025. Дата выхода в свет 24.12.2025. 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 style="text-align: center;">FAR EASTERN AGRICULTURAL JOURNAL</p> <p style="text-align: center;">Scientific and Practical Journal Issued since 2007. Issued quarterly</p>	<p style="text-align: right;">Vol. 19. No. 4 October – December 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 172. Signing date 16.12.2025. Publication date 24.12.2025. 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
Дахно О. А., Клочкова Н. Г., Дахно Т. Г. Влияние обработок маточных растений земляники садовой (<i>Fragaria × ananassa</i> Duch.) водными экстрактами морских бурых водорослей на их продуктивность	5
Егорова И. В., Панова Л. П., Родионова Н. А., Смирнова В. Н. Определение тяжелых металлов в овощной продукции методом инверсионной вольтамперометрии	15
Кубасов И. А., Епифанцев В. В. Реакция яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в длительном стационарном севообороте	24
Мазин А. М. Влияние новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на урожайность зерна пшеницы полбы (<i>Triticum dicoccum</i>) сорта Псковитянка.	37
Масютина Ю. А. Идентификация залежных земель на севере Зейско-Буреинской равнины (Амурская область) с использованием спутниковых данных	46
Рафальская О. М., Рафальский С. В., Рафальская Н. Б. Влияние штаммов ризобиЙ на продуктивность сои сорта Алпетра.....	58
ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ	68
Владимиров Л. Н., Мачахтырова В. А., Слепцова В. В., Павлова Н. И., Алексеев В. А. Изучение температуры тела табунных лошадей с использованием тепловизионной термографии	68
Карамушкина С. В., Сергеенкова Н. А. Морфофункциональные изменения поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион люпина белого	77
Кручинкина Т. В. Эффективность использования препаратов на основе природных цеолитов Амурской области в ветеринарии и животноводстве.....	84
Слепцова В. В., Павлова Н. И. Влияние способа содержания на элементный статус кобыл якутской породы	93
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	101
Зимина О. Г., Бадмаев Ю. Ц. Исследование равномерности распределения семян экспериментальным сошником	101
Карпич Д. А. Разработка технологии функционального творожного продукта, обогащенного экстрактами грибов <i>Hericium erinaceus</i> и <i>Ganoderma lucidum</i> и ягодным компонентом.....	107
Хамагаева И. С., Качанина Л. М., Замбалова Н. А., Столярова А. С. Микробный синтез наноселена	116
Чагарова О. В., Косицына О. А., Осипов П. Е. Ионный состав плодов некоторых растений семейства Розоцветные (<i>Rosaceae</i>)	125
ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В ЖУРНАЛЕ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК».....	132

CONTENTS

AGRONOMY	5
<i>Dakhno O. A., Klochkova N. G., Dakhno T. G.</i> The effect of treating garden strawberry (<i>Fragaria × ananassa</i> Duch.) mother plants with aqueous extracts of brown seaweed on their productivity	5
<i>Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Smirnova V. N.</i> Determination of heavy metals in vegetable products by inversion voltammetry	15
<i>Kubasov I. A., Epifantsev V. V.</i> Response of spring wheat to mineral nitrogen-phosphorus and organic fertilizer in a long-term stationary crop rotation	24
<i>Mazin A. M.</i> The effect of new complex fertilizers and modern biological products on the yield of wheat spelt (<i>Triticum dicoccum</i>) of the Pskovityanka variety	37
<i>Masyutina Yu. A.</i> Identification of abandoned agricultural lands in the northern Zeya-Bureya plain (Amur region) using satellite data.....	46
<i>Rafalskaya O. M., Rafalskiy S. V., Rafalskaya N. B.</i> Influence of rhizobia strains on Alpetra soybean variety productivity.....	58
ANIMAL BREEDING AND VETERINARY	68
<i>Vladimirov L. N., Machakhtyrova V. A., Sleptsova V. V., Pavlova N. I., Alekseev V. A.</i> Study of body temperature of herd horses by thermal imaging thermography.....	68
<i>Karamushkina S. V., Sergeenkova N. A.</i> Morphofunctional changes in the pancreas of broiler chickens when white lupine is introduced into the diet	77
<i>Kruchinkina T. V.</i> Efficiency of using preparations based on natural zeolites of the Amur region in veterinary medicine and animal husbandry	84
<i>Sleptsova V. V., Pavlova N. I.</i> The influence of the method of animal husbandry on the elemental status of Yakut mares.....	93
AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES	101
<i>Zimina O. G., Badmaev Yu. Ts.</i> Investigation of the uniformity of seed distribution by an experimental coulter.....	101
<i>Karpich D. A.</i> Development of a technology for a functional curd product enriched with extracts of <i>Hericium erinaceus</i> and <i>Ganoderma lucidum</i> mushrooms and a berry component	107
<i>Khamagaeva I. S., Kachanina L. M., Zambalova N. A., Stolyarova A. S.</i> Microbial synthesis of nanoselenium	116
<i>Chagarova O. V., Kositsyna O. A., Osipov P. E.</i> Ionic composition of fruits of some plants of the <i>Rosaceae</i> family.....	125
THE REQUIREMENTS APPLIED TO THE ARTICLES BEING PUBLISHED IN THE FAR EASTERN AGRICULTURAL JOURNAL	132

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Научная статья

УДК 634.75:631.871

EDN BDNCVE

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-5-14>

Влияние обработок маточных растений земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) водными экстрактами морских бурых водорослей на их продуктивность

**Ольга Александровна Дахно¹, Нина Григорьевна Клочкова²,
Тимофей Григорьевич Дахно³**

¹ Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга
Камчатский край, Петропавловск-Камчатский, Россия

^{2,3} Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Камчатский край, Петропавловск-Камчатский, Россия

¹ o_dakhno@mail.ru, ² ninakl@mail.ru, ³ tim.gri.d@mail.ru

Аннотация. Эффективность высокорентабельного производства земляники садовой зависит от качества посадочного материала с маточных плантаций. Одним из перспективных методов экологизации сельского хозяйства является применение биостимуляторов из экстрактов морских водорослей, позволяющих повысить количество и качество дочерних розеток. Цель работы – оценка влияния концентрации и кратности обработок экстрактами морских водорослей на репродуктивные показатели маточных растений земляники садовой при возделывании в открытом грунте в условиях юго-востока Камчатки. В статье представлены результаты трехлетних полевых исследований (2019, 2020 и 2021 гг.) по изучению влияния некорневых обработок водными экстрактами бурых водорослей *Hedophyllum bongardianum* и *Alaria esculenta* на продуктивность маточных растений земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) сорта «Сюрприз Олимпиаде» в условиях юго-востока Камчатки. Установлено, что вид водоросли, концентрация рабочего раствора и кратность обработок оказывают значимое влияние на ростовые и репродуктивные показатели. Наибольшая эффективность выявлена при использовании 10 % концентрации экстракта *A. esculenta*. Однократная обработка этим экстрактом достоверно увеличила количество розеток на 55,2 %, количество листьев на 32,6 %, толщину корневой шейки на 41,2 % и длину корней на 13,1 % по сравнению с контролем. Выявлено, что применение экстракта *H. bongardianum*, особенно в высокой концентрации (25 %) и при двукратной обработке, в ряде случаев приводило к угнетению развития розеток. Результаты исследования показывают перспективность использования экстракта *A. esculenta* в качестве эффективного биостимулятора для повышения продуктивности маточных насаждений земляники садовой.

Ключевые слова: земляника садовая, *Fragaria ananassa*, водорослевый экстракт, *Hedophyllum bongardianum*, *Alaria esculenta*, количество розеток, качество розеток, биостимуляторы, Камчатка

Финансирование: финансовая поддержка работы осуществлена из средств гранта Российского научного фонда «Разработка технологии извлечения биостимуляторов роста растений из камчатских морских водорослей. Апробация их росто- и иммунопротекторного воздействия на выращиваемые на Камчатке тепличные культуры» (№ 25-26-20128).

Для цитирования: Дахно О. А., Клочкова Н. Г., Дахно Т. Г. Влияние обработок маточных растений земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) водными экстрактами морских бурых водорослей на их продуктивность // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 5–14. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-5-14>.

Original article

The effect of treating garden strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) mother plants with aqueous extracts of brown seaweed on their productivity

Olga A. Dakhno¹, Nina G. Klochkova², Timofey G. Dakhno³

¹ Vitus Bering Kamchatka State University

Kamchatka krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

^{2,3} Kamchatsky Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Kamchatka krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

¹ o_dakhno@mail.ru, ² ninakl@mail.ru, ³ tim.gri.d@mail.ru

Abstract. The efficiency of garden strawberry production depends on the quality of planting material from mother plantations. One promising method for greening agriculture is the use of biostimulants based on seaweed extracts, which can increase the quantity and quality of daughter rosettes. The aim of this study was to evaluate the effect of the concentration and frequency of seaweed extract treatments on the reproductive performance of garden strawberry mother plants grown outdoors in southeastern Kamchatka. This article presents the results of three years of field research (2019, 2020, and 2021) examining the effect of foliar treatments with aqueous extracts of the brown algae *Hedophyllum bongardianum* and *Alaria esculenta* on the productivity of garden strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) mother plants in southeastern Kamchatka. Research has proven that the type of algae, the concentration of the working solution and the frequency of treatments have a significant impact on growth and reproductive performance. The highest efficiency was found when using a 10% concentration of *A. esculenta* extract. A single treatment with this extract significantly increased the number of rosettes by 55.2%, the number of leaves by 32.6%, the root collar thickness by 41.2% and the length of the roots by 13.1% compared with the control. At the same time, the application of *H. bongardianum* extract, especially in high concentrations (25%) and with double treatment, in some cases led to inhibition of rosette development. The study results demonstrate the potential of using *A. esculenta* extract as an effective biostimulant for increasing the productivity of garden strawberry mother plantings.

Keywords: garden strawberry, *Fragaria ananassa*, algae extract, *Hedophyllum bongardianum*, *Alaria esculenta*, number of rosettes, rosette quality, biostimulants, Kamchatka

Funding: financial support for the work was provided from a grant from the Russian Science Foundation "Development of technology for the extraction of plant growth biostimulators from Kamchatka algae. Approbation of their growth and immunoprotective effects on greenhouse crops grown in Kamchatka" (No. 25-26-20128).

For citation: Dakho O. A., Klochkova N. G., Dakho T. G. The effect of treating garden strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) mother plants with aqueous extracts of brown seaweed on their productivity. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:5–14. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-5-14>.

Введение. Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) является одной из наиболее рентабельных ягодных культур, чье производство в значительной степени зависит от обеспечения промышленных насаждений высококачественным, сертифицированным посадочным материалом [1, 2].

Ключевым технологическим звеном в этом процессе является маточная плантация, основной функцией которой служит продуцирование маточными рас-

тениями физиологически полноценных дочерних розеток (усов). Именно количество и качество розеток определяет эффективность работы питомниково-дикорастительных хозяйств и последующую продуктивность закладываемых из этого материала товарных плантаций [3, 4].

В рамках экологизации сельского хозяйства и снижения пестицидной нагрузки особую актуальность приобретают технологии применения биологически активных препаратов. Одним из наибо-

лее перспективных направлений является использование экстрактов морских водорослей, которые представляют собой комплексные биостимуляторы нового поколения [5, 6].

Многочисленные исследования подтверждают, что экстракты бурых морских водорослей содержат уникальный комплекс биологически активных соединений. К их числу относятся фитогормоны (ауксины и цитокинины), олигосахарины, маннит, а также макро- и микроэлементы в хелатной форме. Помимо этого, в их состав входят осмопротекторы, такие как бетаины, и антистрессовые метаболиты – фукоидан и альгинаты. Благодаря такому богатому составу, в научных исследованиях отмечают многофункциональность водорослевых экстрактов: они не только стимулируют рост растений, но и существенно повышают их устойчивость к абиотическим стрессам [7–9].

Механизм действия водорослевых экстрактов связан с модуляцией метаболических путей растения, активацией антиоксидантной системы и усилением синтеза хлорофилла, что в конечном итоге положительно сказывается на продуктивности сельскохозяйственных культур [10]. Однако, как показывают научные исследования, фитоэффективность этих препаратов в значительной степени зависит от целого ряда технологических параметров, среди которых решающее значение имеют концентрация рабочего раствора и кратность его применения [11].

Несмотря на очевидный потенциал экстрактов водорослей, в научной литературе сохраняется дефицит систематизированных данных, позволяющих целенаправленно управлять процессом усвообразования у земляники садовой. Остается недостаточно изученным влияние различных доз и режимов обработок экстрактами водорослей на ключевые параметры продуктивности маточных растений: количество продуцируемых усов и дочерних розеток, их линейные размеры и качественные характеристики. Все это предопределило проведение представленных в настоящей статье исследований.

Цель исследований – оценка влияния концентрации и кратности обработок экстрактами морских водорослей на репродуктивные показатели маточных

растений земляники садовой при возделывании в открытом грунте в условиях юго-востока Камчатки.

Материалы и методы исследований. Работа выполнена в рамках Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий, реализуемых Камчатским государственным университетом имени Витуса Беринга, а также государственного задания Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН по теме «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования».

Полевые исследования осуществляли в 2019–2021 гг. на территории экспериментального участка Камчатского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенного в Елизовском районе (п. Сосновка, Камчатский край).

Агрохимический анализ вулканической охристой почвы опытного участка выявил следующие показатели (мг/100 г): подвижный фосфор – 6,23; обменный калий – 25,74; аммиачный и нитратный азот – 4,31 и 2,54 соответственно. Гидролитическая кислотность соответствовала значению 5,12 мг-экв./100 г при рН – 5,74. Непосредственно перед закладкой опыта поле содержалось по типу чистого пара.

В качестве объектов исследований использовали водные экстракты, полученные из морских бурых водорослей *Hedophyllum bongardianum* (Postels et Ruprecht) Yendo и *Alaria esculenta* (Linnaeus) Greville (Laminariales), а также растения садовой земляники (*Fragaria × ananassa* Duch.) сорта «Сюрприз Олимпиаде». Получение водных экстрактов предусматривало использование 1 кг водорослевого сырья. В качестве экстрагента применялась дистиллированная вода при гидромодуле 1:5. Процесс вели в сушильном шкафу СШ-80-02 СПУ на протяжении 36 часов, поддерживая температуру 40 °С. Полученные экстракты хранили в холодильнике при температуре 4 °С и при необходимости использовали для получе-

ния рабочих водных экстрактов с концентрациями 10 и 25 %.

Опыт заложили в соответствии со следующей схемой:

Вариант 1 (контроль). Обработка растений водой.

*Вариант 2. Обработка 10-процентным экстрактом водорослей *H. bongardianum*.*

*Вариант 3. Обработка 25-процентным экстрактом водорослей *H. bongardianum*.*

*Вариант 4. Обработка 10-процентным экстрактом водорослей *A. esculenta*.*

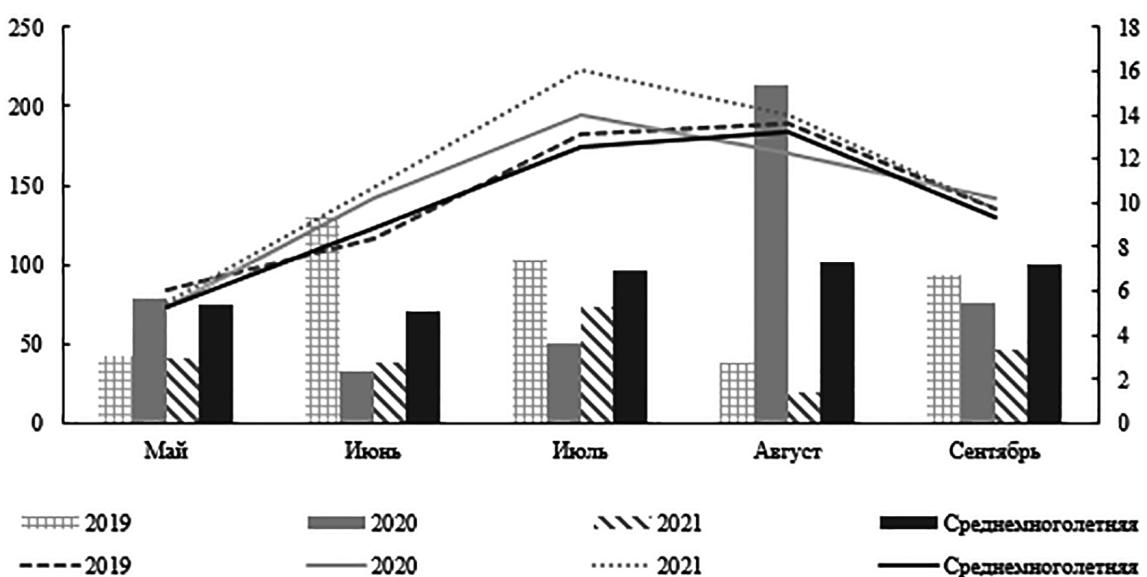
*Вариант 5. Обработка 25-процентным экстрактом водорослей *A. esculenta*.*

Растения размещали индивидуально с плотностью посадки 1,3×0,6 м. Опыт проводили в трехкратной повторности, объем каждой опытной группы составлял 30 растений. Некорневую обработку растений земляники садовой осуществляли в режиме одно- и двукратного применения с интервалом 7 дней. Первое опрыскивание было приурочено к фенологической фазе начала образования усов. Комплекс агротехнических мероприятий по уходу включал двукратную механизированную

обработку междурядий и четырехкратную ручную прополку в рядах.

Учеты и наблюдения при проведении эксперимента включали подсчет количества усов и розеток на маточном растении (кусте) и листьев на дочернем растении (розетке); биометрические измерения высоты растения (розетки) и длины корней растения (розетки), толщины корневой шейки растения (розетки). Они осуществлялись в соответствии с общепринятыми программами и методиками изучения ягодных культур [12, 13]. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных осуществляли с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

Метеорологические условия в годы проведения исследований отличались по тепло- и влагообеспеченности от средних многолетних величин (рис. 1). В 2019 г. среднемесячная температура воздуха в июле и августе превышала многолетние нормы на 0,6 °C и 0,4 °C соответственно. Наибольшее количество осадков зафиксировано в июне (129,2 мм), что практически вдвое превысило среднемноголетнюю



по вертикали слева – атмосферные осадки (гистограмма), мм;

по вертикали справа – температура воздуха, °C (график)

the vertical axis on the left shows precipitation (histogram), mm;

the vertical axis on the right shows air temperature, °C (graph)

Рисунок 1 – Среднемесячные данные температуры воздуха и атмосферных осадков весенне-летнего периода в годы исследований

Figure 1 – Average monthly air temperature and precipitation data for the spring and summer periods during the study years

норму (71,0 мм). В августе, напротив, наблюдался резкий дефицит осадков (выпало 38,6 мм при норме 102,0 мм).

В 2020 г. температура воздуха в июне, июле и сентябре также превышала многолетние значения на 1,3 °С, 1,5 °С и 0,9 °С соответственно. По осадкам отмечалась высокая контрастность: в августе выпало 213,6 мм, что более чем в два раза превысило норму; в июне (33,4 мм) отмечался их существенный недостаток.

В 2021 г. среднемесячные температуры воздуха в течение всего вегетационного периода превышали многолетние показатели, особенно существенно в июле (16,0 °С). Количество осадков было неравномерным: в июне (37,6 мм) и августе (18,9 мм) отмечался их резкий дефицит, тогда как в июле (73,0 мм) значения были близки к норме.

Таким образом, все три года исследований были теплее климатической нормы, но существенно различались по режиму увлажнения: 2019 г. характеризовался избытком осадков в начале лета и их дефицитом в конце; 2020 г. – экстремально влажным августом, а 2021 г. – выраженной засушливостью в июне и августе.

Результаты исследований и их обсуждение. Данные изучения влияния водорослевых экстрактов на основные показатели продуктивности маточных растений земляники крупноплодной, представленные в таблице 1, демонстрируют, что наибольшее количество усов сформировалось

при однократной некорневой обработке 10-процентным экстрактом *A. esculenta*. Показатель составил 7,5 штук с растения, что является максимальным значением среди всех опытных вариантов, достоверно превышая контроль на 27,1 %. Двукратное опрыскивание 25-процентным экстрактом *A. esculenta* также обеспечило увеличение количества усов до 6,9 штук с растения, превысив контрольные значения на 21,1 %. Полученные данные позволяют предположить наличие кумулятивного эффекта при использовании более концентрированных экстрактов [5].

Следует отметить, что остальные экспериментальные варианты не показали статистически значимого увеличения количества усов по сравнению с контролем. Более того, практически во всех вариантах с *H. bongardianum*, кроме однократной обработки 25-процентным экстрактом, отмечалась тенденция к снижению показателей, что может говорить о видовой и концентрационной специфичности действия экстрактов.

При оценке воздействия экстрактов на количество розеток, являющееся непосредственным показателем продуктивности маточных растений, выявлен стабильно положительный эффект как при однократной, так и при двукратной обработке *A. esculenta* – 9,0 шт./растение, превысивший контроль на 55,2 и 32,4 % соответственно, что может быть связано с оптимальным содержанием биологиче-

Таблица 1 – Влияние одно- и двукратных некорневых подкормок водорослевыми экстрактами разной концентрации на продуктивность маточных растений земляники садовой (2019–2021 гг.)

Table 1 – Effect of single and double foliar feeding with algal extracts of different concentrations on the productivity of garden strawberry mother plants (2019–2021)

Вариант обработки	Количество усов, шт./растение		Количество розеток, шт./растение	
	1	2	1	2
Контроль (обработка водой)	5,9±3,1	5,7±3,5	5,8±2,9	6,8±1,8
Экстракт <i>Hedophyllum bongardianum</i> (10 %)	5,0±4,1	5,2±3,6	8,0±1,9	6,8±2,9
Экстракт <i>Hedophyllum bongardianum</i> (25 %)	6,0±3,6	5,2±4,8	7,7±2,5	3,0±1,4
Экстракт <i>Alaria esculenta</i> (10 %)	7,5±4,8	6,5±3,9	9,0±3,7	9,0±3,4
Экстракт <i>Alaria esculenta</i> (25 %)	5,5±3,7	6,9±3,8	7,3±2,9	7,8±3,0
HCP _{0,5}	1,34	1,03	1,83	1,91

Примечание: 1 – после однократной обработки, 2 – после двукратной обработки.

ски активных веществ, стимулирующих ростовые процессы [6]. Этот результат был особенно выражен в условиях засушливого периода вегетации 2021 г., что может указывать на адаптогенные свойства экстракта. Водорослевый экстракт *H. bongardianum* при однократной обработке 10 и 25-процентным раствором также увеличивал количество розеток, однако эффект резко снижался при двукратной обработке и повышении концентрации до уровня 25 %. По мнению некоторых исследователей, это может указывать на возможный фитотоксический эффект высоких доз данного водорослевого экстракта или наличие в его составе веществ, ингибирующих развитие при накоплении [14].

Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о значимом влиянии вида, концентрации и кратности обработки водорослевыми экстрактами на толщину корневой шейки и длину корней у розеток земляники садовой. Наибольшее положительное воздействие на толщину корневой шейки отмечено при использовании экстракта *A. esculenta*. Однократная обработка 25-процентным экстрактом обеспечила увеличение данного показателя до 2,7 см, что превышает контроль на 58,8 %. Двукратная обработка 10-процентным экстрактом *A. esculenta* также показала стабильный результат – 2,4 см, что на 26,3 % выше контроля. В то же время 10-процентный экстракт *H. bongardianum* при одно-

кратном применении привел к снижению толщины шейки до 1,2 см.

При этом наибольшая длина корней у розеток отмечена при двукратной обработке 25-процентными экстрактами у обоих видов водорослей: *H. bongardianum* (13,8 см) и *A. esculenta* (13,7 см), превышая контрольные значения соответственно на 32,7 и 31,7 %. Однократная обработка 10-процентным экстрактом *A. esculenta* также способствовала увеличению длины корней до 12,1 см.

Согласно данным таблицы 3, наибольший стимулирующий эффект на высоту розеток земляники садовой оказала двукратная обработка 25-процентным экстрактом *H. bongardianum*. В этом варианте показатель высоты достиг 22,2 см, что на 58,6 % выше контрольных значений. Однократная обработка 10-процентным экстрактом *A. esculenta* также положительно повлияла на высоту розеток, обеспечив прирост на 21,4 % по сравнению с контролем. Наибольший эффект наблюдался в 2019 г., для которого были характерны температуры, близкие к средним многолетним значениям, а также достаточное количество атмосферных осадков.

Максимальное количество листьев розетки (5,7 шт./растение) было отмечено при однократной обработке 10-процентным экстрактом *A. esculenta*, что превышает контрольный показатель на 32,6 %. Однако двукратное применение того же

Таблица 2 – Влияние одно- и двукратных некорневых подкормок водорослевыми экстрактами разной концентрации на качественные показатели розеток растений земляники садовой (2019–2021 гг.)

Table 2 – Effect of single and double foliar feeding with algae extracts of different concentrations on the quality indicators of garden strawberry plant rosettes (2019–2021)

Вариант обработки	Толщина корневой шейки, см		Длина корней, см	
	1	2	1	2
Контроль (обработка водой)	1,7±0,3	1,9±0,3	10,7±4,4	10,4±5,4
Экстракт <i>Hedophyllum bongardianum</i> (10 %)	1,2±0,2	2,0±0,4	11,7±4,8	11,5±4,1
Экстракт <i>Hedophyllum bongardianum</i> (25 %)	2,4±0,3	2,1±0,4	10,7±4,3	13,8±3,8
Экстракт <i>Alaria esculenta</i> (10 %)	2,4±0,5	2,4±0,3	12,1±4,5	11,6±4,2
Экстракт <i>Alaria esculenta</i> (25 %)	2,7±0,4	2,3±0,3	9,8±3,9	13,7±4,9
HCP _{0,5}	0,11	0,13	1,63	1,84

Примечание: 1 – после однократной обработки, 2 – после двукратной обработки.

Таблица 3 – Влияние одно- и двукратных некорневых подкормок водорослевыми экстрактами разной концентрации на морфометрические показатели розеток земляники садовой (2019–2021 гг.)

Table 3 – Effect of single and double foliar feeding with algal extracts of different concentrations on the morphometric parameters of garden strawberry rosettes (2019–2021)

Вариант обработки	Высота, см		Количество листьев, шт./растение	
	1	2	1	2
Контроль (обработка водой)	14,0±2,2	14,0±2,1	4,3±2,1	4,0±1,9
Экстракт <i>Hedophyllum bongardianum</i> (10 %)	12,8±1,9	19,2±4,1	3,7±1,7	5,0±1,9
Экстракт <i>Hedophyllum bongardianum</i> (25 %)	10,6±5,3	22,2±6,9	2,3±2,3	3,0±1,8
Экстракт <i>Alaria esculenta</i> (10 %)	17,0±3,5	18,8±2,0	5,7±2,3	3,0±2,3
Экстракт <i>Alaria esculenta</i> (25 %)	11,6±4,5	19,0±4,6	3,3±1,7	4,3±1,8
HCP _{0,5}	3,81	4,09	1,14	1,73

Примечание: 1 – после однократной обработки, 2 – после двукратной обработки.

экстракта снижало данный показатель до 3,0 шт./растение, что может свидетельствовать об ингибирующем эффекте при повторном опрыскивании. При этом экстракт *H. bongardianum* в концентрации 10 % при двукратной некорневой обработке увеличивал число листьев до 5,0 шт./растение, тогда как повышение концентрации до 25 % при том же режиме обработки приводило к снижению значения до 3,0 шт./растение. Последнее также указывает на возможное фитотоксическое действие высоких доз [14].

Заключение. Проведенное исследование выявило высокую эффективность применения водного экстракта бурой водоросли *Alaria esculenta* для стимуляции продуктивности маточных растений земляники садовой.

Установлено, что однократная обработка экстрактом в минимальной испытальной концентрации увеличивает количество розеток на 55,2 % и улучшает их морфометрические показатели, к которым относятся количество листьев, толщина шейки и длина корней.

При этом результативность двукратного применения данного экстракта является неоднозначной и зависит от применяемой концентрации и складывающихся метеорологических условий.

Таким образом, исследованиями подтверждено, что однократная некорневая обработка 10-процентным водным водорослевым экстрактом *Alaria esculenta* является наиболее оптимальным вариантом для повышения продуктивности маточных растений земляники садовой.

Список источников

1. Bruno M., Giampieri F., Zhang Y., Zhong C. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world // Journal of Berry Research. 2018. Vol. 8. No. 3. P. 205–221. <https://doi.org/10.3233/JBR-180314>.
2. Гореликова О. А. Экономическая эффективность выращивания сортов садовой земляники интенсивного типа в Краснодарском крае // Субтропическое и декоративное садоводство. 2019. № 71. С. 245–250. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-71-245-250>.
3. Зубкова М. И., Хрыкина Т. А., Панфилова О. В. Оценка усвообразовательной способности перспективных сортов земляники садовой маточного насаждения // Современное садоводство. 2018. № 1 (25). С. 50–54. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10108>. EDN LBJRPV.

4. Макарова К. С., Петров А. Ф., Семенюк Ю. А. Совершенствование технологии производства земляники садовой в условиях лесостепи Западной Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2025. № 1. Р. 40–46. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-74-1-40-46>. EDN CZAUJR.
5. Шибаева Т. Г., Шерудило Е. Г., Титов А. Ф. Экстракты морских водорослей как биостимуляторы растений // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 3. С. 36–67. <http://dx.doi.org/10.17076/eb1383>. EDN ADUAJF.
6. Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production // Plants. 2021. Vol. 10. No. 3. P. 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>.
7. Rabhi M. L., Derbak L., Bendif H., Boufahja F., Abu-Elsaoud A. M., Garzoli S. Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production: A review // Journal of Biotechnology. 2025. Vol. 408. P. 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.biotec.2025.09.013>.
8. Rengasamy K. R., Mahomoodally M. F., Aumeeruddy M. Z., Zengin G., Xiao J., Kim D. Bioactive compounds in seaweeds: An overview of their biological properties and safety // Food and Chemical Toxicology. 2020. Vol. 135. P. 111013. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111013>.
9. Deolu-Ajayi A. O., van der Meer I. M., van der Werf A., Karlova R. The hower of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress // Plant Cell Environ. 2022. Vol. 45. P. 2537–2553. <https://doi.org/10.1111/pce.14391>.
10. Ertani A., Francisco O., Tinti A., Schiavon M., Pizzeghello D., Nardi S. Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. P. 428. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>.
11. Shukla P. S., Mantin E. G., Adil M., Bajpai S., Critchley A. T., Prithiviraj B. *Ascophyllum nodosum* – based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. P. 655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>.
12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел : Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 1999. 606 с.
13. Программно-методические указания по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами. Мичуринск, 1972. 184 с.
14. Stirk W. A., Van Staden J. Plant growth regulators in seaweeds: occurrence, regulation and functions // Advances in Botanical Research. 2014. Vol. 71. P. 125–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408062-1.00005-6>.

References

1. Bruno M., Giampieri F., Zhang Y., Zhong C. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world. Journal of Berry Research, 2018;8;3:205–221. <https://doi.org/10.3233/JBR-180314>.
2. Gorelikova O. A. Economic efficiency of growing intensive garden strawberry varieties in the Krasnodar krai. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*, 2019;71:245–250. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-71-245-250> (in Russ.).
3. Zubkova M. I., Khrykina T. A., Panfilova O. V. Evaluation of the whisker-forming capacity of promising varieties of garden strawberries from mother plantings. *Sovremennoe sadovodstvo*, 2018;1(25):50–54. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10108>. EDN LBJRPV (in Russ.).
4. Makarova K. S., Petrov A. F., Semenyuk Yu. A. Improvement of technology for production of garden strawberries in the forest-steppe conditions of Western Siberia. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2025;1:40–46. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-74-1-40-46> EDN CZAUJR (in Russ.).

5. Shibaeva T. G., Sherudilo E. G., Titov A. F. Seaweed extracts as plant biostimulants. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2021;3:36–67. <http://dx.doi.org/10.17076/eb1383>. EDN ADUAJF (in Russ.).
6. Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 2021;10;3:531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>.
7. Rabhi M. L., Derbak L., Bendif H., Boufahja F., Abu-Elsaoud A. M., Garzoli S. Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production: A review. *Journal of Biotechnology*, 2025; 408:201–216. <https://doi.org/10.1016/j.biotec.2025.09.013>.
8. Rengasamy K. R., Mahomoodally M. F., Aumeeruddy M. Z., Zengin G., Xiao J., Kim D. Bioactive compounds in seaweeds: An overview of their biological properties and safety. *Food and Chemical Toxicology*, 2020;135:111013. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111013>.
9. Deolu-Ajayi A. O., van der Meer I. M., van der Werf A., Karlova R. The power of seaweeds as plant biostimulants to boost crop production under abiotic stress. *Plant Cell Environ*, 2022;45: 2537–2553. <https://doi.org/10.1111/pce.14391>.
10. Ertani A., Francisco O., Tinti A., Schiavon M., Pizzeghello D., Nardi S. Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Frontiers in Plant Science*, 2018;9:428. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>.
11. Shukla P. S., Mantin E. G., Adil M., Bajpai S., Critchley A. T., Prithiviraj B. *Ascophyllum nodosum* – based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, 2019;10: 655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>.
12. *Program and methodology for variety testing of fruit, berry, and nut crops*, Orel, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur, 1999, 606 p. (in Russ.).
13. *Program and methodological guidelines for agronomic experiments with fruit and berry crops*, Michurinsk, 1972, 184 p. (in Russ.).
14. Stirk W. A., Van Staden J. Plant growth regulators in seaweeds: occurrence, regulation and functions. *Advances in Botanical Research*, 2014;71:125–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408062-1.00005-6>.

© Дахно О. А., Ключкова Н. Г., Дахно Т. Г., 2025

Статья поступила в редакцию 24.10.2025; одобрена после рецензирования 19.11.2025; принята к публикации 21.11.2025.

The article was submitted 24.10.2025; approved after reviewing 19.11.2025; accepted for publication 21.11.2025.

Информация об авторах

Дахно Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, ORCID: 0000-0001-6824-4229, Author ID: 745630, o_dakhno@mail.ru;

Ключкова Нина Григорьевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, ORCID: 0000-0003-3430-4056, Author ID: 344281, ninakl@mail.ru;

Дахно Тимофей Григорьевич, научный сотрудник, Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного филиала Российской академии наук, ORCID: 0009-0003-5629-6904, Author ID: 745699, tim.gri.d@mail.ru

Information about the authors

Olga A. Dakhno, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Vitus Bering Kamchatka State University, ORCID: 0000-0001-6824-4229, Author ID: 745630, o_dakhno@mail.ru;

Nina G. Klochkova, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Kamchatsky Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-3430-4056, Author ID: 344281, ninakl@mail.ru;

Timofey G. Dakhno, Researcher, Kamchatsky Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0009-0003-5629-6904, Author ID: 745699, tim.gri.d@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 543.55+635.1

EDN EJCDON

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-15-23>

Определение тяжелых металлов в овощной продукции методом инверсионной вольтамперометрии

**Ирина Владимировна Егорова¹, Людмила Петровна Панова²,
Наталья Александровна Родионова³, Виктория Николаевна Смирнова⁴**

^{1, 2, 3, 4} Благовещенский государственный педагогический университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ bgpu.chim.egorova@mail.ru, ² panovaljuda.71@mail.ru,

³ rona20@mail.ru, ⁴ vika21031947@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены результаты изучения содержания тяжелых металлов (цинка, свинца, кадмия и меди) в агроэкосистеме южной зоны Среднего Приамурья по схеме «почва – растение – вода» методом инверсионной вольтамперометрии. В период с 2021 по 2024 гг. исследовались: почва фермерского хозяйства (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области); вносимые удобрения (карбамид «Биомастер», суперфосфат «Классика дачника»); вода для полива (протока Каникурганская); овощная продукция (свекла, морковь, капуста, картофель), выращенная в грунте. Суперфосфат содержал в качестве примесей (в мг/кг): цинк – $25,4 \pm 3,8$; кадмий – $0,21 \pm 0,03$; свинец – $12,5 \pm 0,8$; медь – $13,2 \pm 1,9$. В карбамиде были обнаружены примеси (в мг/кг): цинк – $18,9 \pm 2,8$; кадмий – $0,22 \pm 0,03$; свинец – $13,5 \pm 0,8$; медь – $23,5 \pm 3,5$. Суперфосфат и карбамид являются источниками поступления тяжелых металлов в почву. Согласно данным инверсионной вольтамперометрии, средние значения концентраций цинка, кадмия, свинца и меди в почве превышали фоновые концентрации, но значительно меньше ориентировочно допустимых концентраций. Пахотные почвы по содержанию тяжелых металлов можно отнести к слабозагрязненным, они не представляют опасности для здоровья человека. Проведенное исследование показало, что содержание цинка, меди, свинца и кадмия в воде для полива значительно меньше предельно допустимых концентраций. Жители Амурской области обеспечены овощами, в которых содержание тяжелых металлов минимальное.

Ключевые слова: тяжелые металлы, инверсионная вольтамперометрия, овощная продукция, почва, вода, удобрения

Для цитирования: Егорова И. В., Панова Л. П., Родионова Н. А., Смирнова В. Н. Определение тяжелых металлов в овощной продукции методом инверсионной вольтамперометрии // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 15–23. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-15-23>.

Original article

Determination of heavy metals in vegetable products by inversion voltammetry

Irina V. Egorova¹, Lyudmila P. Panova²,

Natalia A. Rodionova³, Victoria N. Smirnova⁴

^{1, 2, 3, 4} Blagoveshchensk State Pedagogical University

Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ bgpu.chim.egorova@mail.ru, ² panovaljuda.71@mail.ru,

³ rona20@mail.ru, ⁴ vika21031947@gmail.com

Abstract. The results of a study of the content of heavy metals (zinc, lead, cadmium and copper) in the agroecosystem of the southern zone of the Middle Amur region according to the

"soil–plant–water" scheme by inversion voltammetry are presented. In the period 2021–2024, the following studies were conducted: farm soil; fertilizers applied (carbamide and superphosphate); irrigation water; vegetable products (beets, carrots, cabbage, potatoes) grown in the ground. Superphosphate contained as impurities (mg/kg): zinc – 25.4 ± 3.8 ; cadmium – 0.21 ± 0.03 ; lead – 12.5 ± 0.8 ; copper – 13.2 ± 1.9 . Impurities were found in carbamide (mg/kg): zinc – 18.9 ± 2.8 ; cadmium – 0.22 ± 0.03 ; lead – 13.5 ± 0.8 ; copper – 23.5 ± 3.5 . Thus, these fertilizers are sources of heavy metals entering the soil. However, the average concentrations of these chemical elements in the soil, although they exceeded the background concentrations, were significantly lower than the approximate permissible concentrations. This makes it possible to classify arable soils in terms of heavy metal content as slightly polluted, which do not pose a danger to human health. The content of zinc, copper, lead and cadmium in irrigation water is significantly lower than the maximum permissible concentrations. Thus, the residents of the region are provided with vegetables that meet the safety requirements for the content of heavy metals.

Keywords: heavy metals, voltammetric method, vegetable products, soil, water, fertilizers

For citation: Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Smirnova V. N. Determination of heavy metals in vegetable products by inversion voltammetry. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:15–23. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-15-23>.

Введение. Овощи занимают важную роль в рационе питания человека [1, 2]. Они являются важнейшими компонентами функциональных продуктов, которые нашли широкое применение в лечении хронических заболеваний, для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, лечения диабета, ожирения и снижения риска развития опухолей [3]. В овощах содержатся пищевые волокна, микроэлементы, витамины, проявляющие антиоксидантный эффект, противовоспалительное действие [4].

Жители Амурской области обеспечены овощной продукцией. При этом на прилавках магазинов чаще присутствуют овощи из Китая, однако потребители отдают предпочтение продукции, произведенной амурскими товаропроизводителями. Получение экологически чистых овощей является актуальной задачей [5].

Применение минеральных удобрений может оказывать неблагоприятное воздействие на состояние почв. Минеральные удобрения являются источниками соединений тяжелых металлов, способствуют увеличению их в почве и представляют потенциальную опасность загрязнения ими овощной продукции [6]. Существует тенденция к увеличению меди, цинка и свинца при внесении минеральных удобрений [7, 8]. В азотных и калийных удобрениях наибольшие содержания примесей отмечены для марганца, цинка, хрома, никеля (до 100–400 мг/кг). Наибольшее количество примесей обнаружено в фосфорных удобрениях: мышьяк (30 мг/кг),

кадмий (5–10 мг/кг), свинец (50 мг/кг), цинк (150–1 000 мг/кг) [9].

Однако последующее известкование почвы эффективно влияет на снижение содержания кадмия, меди и цинка в зерне сои [10]. Применение навоза в сочетании с минеральными удобрениями обеспечивало экологическую безопасность агроценозов, снижало риск накопления нитратов и тяжелых металлов в почве и растениях [11]. На фоне применения минеральных удобрений и известкования биологическое поглощение тяжелых металлов растениями овса изменилось. Для соломы была характерна барьерная способность по отношению к свинцу [12]. Удобрения на фоне известкования понижали степень подвижности тяжелых металлов [13].

Накопление тяжелых металлов в овощах зависит от избирательности поглощения химических элементов и их биологической доступности, состава и типа почв. Распределение тяжелых металлов в растениях неравномерно. Их максимальная концентрация отмечена в вегетативных органах, минимальная – в запасающих и репродуктивных органах, что обусловлено действием физиологических и биохимических механизмов самозащиты растений. Попадая в организм человека, тяжелые металлы оказывают патогенное воздействие, вызывают сердечно-сосудистые заболевания, тяжелые формы аллергии, нарушают работу ферментов, обладают канцерогенными свойствами. В связи с этим актуальным является

определение содержания тяжелых металлов в почве, воде, используемой для полива, минеральных удобрениях и выращенной овощной продукции.

Точным и доступным методом определения тяжелых металлов в почве, воде, овощах является вольтамперометрический метод [14].

Цель исследований – определить содержание тяжелых металлов (цинка, свинца, кадмия, меди) в агроэкосистеме южной зоны Среднего Приамурья по схеме «почва – растение – вода» методом инверсионной вольтамперометрии.

Материалы и методы исследований. Отбор проб, пробоподготовку и анализ проб осуществляли согласно требований действующих государственных стандартов. Период исследований – 2021–2024 гг. Исследования проводили в аналитической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета. Выполнение измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди во всех пробах выполняли на вольтамперометрическом анализаторе модели TA-Lab. Определение концентрации тяжелых металлов осуществляли методом инверсионной вольтамперометрии, достоинствами которого являются универсальность, высокочувствительность, экспрессность и воспроизводимость результатов.

Для исследований содержания тяжелых металлов были отобраны: почва фермерского хозяйства (с. Каниурган Благовещенского муниципального округа Амурской области); вносимые удобрения (карбамид «Биомастер», суперфосфат «Классика дачника»); вода для полива (протока Каниурганская); овощная продукция, выращенная в открытом грунте.

Оригинатором картофеля (сорт Винета) выступает компания Europlant pflanzenenzucht (Германия). Оригинатором и производителем семян капусты белокочанной (гибрид F₁ Атрия) и моркови (гибрид F₁ Abaco) является фирма Monsanto Holland (Нидерланды). Оригинатором свеклы столовой (гибрид F₁ Пабло) заявлена семеноводческая компания Vejo Zaden (Голландия). Отбор проб корнеплодов проводили ручным методом с помощью штыковой лопаты по диагонали поля через равные промежутки (одна проба с площади до 50 га). Для объединенной

пробы брали 7–10 точечных проб в количестве 2–3 растения каждого. Отбор проб капусты проводили методом точечных проб по диагонали поля в 7–10 точках на равных расстояниях и в определенных интервалах. Овощную продукцию предварительно высушивали в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С и мелко измельчали. Подготовку проб растительного материала проводили путем сочетания «мокрой» минерализации и «сухого» озоления (HNO₃, H₂O₂, HCl).

В производственных посевах дважды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из пахотного слоя 5–22 см методом конверта. Объем выборки – 15 индивидуальных проб. При этом с учетом требований действующих государственных стандартов устанавливали pH солевой вытяжки; массовые доли подвижных соединений фосфора и калия, подвижной серы, обменных магния и кальция.

Коэффициент биологического поглощения находили из соотношения содержания тяжелых металлов в овощах к содержанию валовых форм тяжелых металлов в почве. *Коэффициент валового загрязнения* рассчитывали отношением содержания валовых форм тяжелых металлов в почве к фоновому содержанию тяжелых металлов.

При статистической обработке данных использовали расчеты доверительного интервала для средней величины ($X \pm \Delta$) и коэффициента вариации (V).

Результаты исследований и их обсуждение. Почвы опытного участка представлены луговыми агроzemами. Тип почвы – постлитогенная, пойменная (аллювиальная). Характеристика почвы: низкое содержание гумуса (3,4 %); нейтральная реакция среды (pH=6,8); емкость катионного обмена (163 мг·экв/100 г).

В таблице 1 представлены результаты испытаний двух образцов почвы. В результате анализа получена следующая группировка почв:

по степени кислотности солевой вытяжки – нейтральная pH_{KCl}; *по сумме поглощенных оснований, массовой доле подвижных соединений фосфора и калия, обменного магния* – среднее содержание; *по массовой доле подвижной серы и обменного кальция* – повышенное содержание.

Таблица 1 – Агрохимические показатели почв фермерского хозяйства (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области)

Table 1 – Agrochemical indicators of the soils (Kanikurgan farm in the Blagoveshchensky municipal district of the Amur region)

Номер образца	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , млн ⁻¹	K ₂ O, млн ⁻¹	S, млн ⁻¹	Mg, ммоль/100 г	Ca, ммоль/100 г
1	5,7±0,1	54±11	150±22	10,0±0,7	1,25±0,17	10,75±0,81
2	6,2±0,1	137±27	147±22	8,3±0,6	2,50±0,19	15,30±1,10

Примечание: Определение агрохимических показателей выполнено 18 апреля 2024 г. в испытательной лаборатории ФГБУ «САС Амурская».

Степень загрязнения пахотного слоя почв тяжелыми металлами определяли сравнением валового содержания с фоновым содержанием и ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) [15].

Коэффициент валового загрязнения по исследуемым тяжелым металлам больше единицы. Согласно данным инверсионно-вольтамперометрических измерений, показанным в таблице 2, валовое содержание цинка, кадмия, свинца и меди в пахотном слое почвы (средние значения за 2021–2024 гг.) незначительно превышало фоновые концентрации. Концентрация цинка относительно ОДК ниже в 8; кадмия – в 2; свинца – в 9; меди – в 15 раз. Таким образом, исследуемый пахотный горизонт почв по содержанию тяжелых металлов относится к слабозагрязненному и не является опасным для здоровья человека. Данные результаты согласуются с выводами агрохимических исследований по Владимирской области [16].

Концентрация тяжелых металлов в образцах удобрений не превышала норму, установленную ГОСТ 58658–2019 «Удобрения минеральные. Общие технические условия».

Сравнение концентраций тяжелых металлов в почве и удобрениях свидетельствует, что одним из источников поступления в почвы фермерского хозяйства меди, кадмия и свинца являются карбамид и суперфосфат.

Результаты анализа на содержание тяжелых металлов в воде для полива в протоке Каникурганская (таблица 3, средние значения за 2021–2024 гг.) были меньше значений ПДК для вод культурно-бытового водопользования.

Важным индикатором экологического состояния и уровня загрязнения тяжелыми металлами является коэффициент биологического поглощения, который определяет способность биологических

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в почве и удобрениях

Table 2 – Heavy metal content in soil and fertilizers

В мг/кг (in mg/kg)

Показатели	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Почва	26,4±3,9	1,11±0,17	14,1±2,1	8,8±1,3
Фон	25	0,9	12,5	8,5
ОДК	220	2,0	130	132
Коэффициент валового загрязнения почвы	1,06	1,23	1,13	1,06
Суперфосфат	25,4±3,8	0,21±0,03	12,5±0,8	13,2±1,9
Карбамид	18,9±2,8	0,22±0,03	13,5±2,0	23,5±3,5

Примечание: значения ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) приняты с учетом СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в воде ($P = 0,95$)Table 3 – Heavy metal content in water ($P = 0.95$)

Показатели	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь	В мг/л (in mg/l)
Вода для полива (ручей Каникурганский)	0,74±0,09	0,00009±0,00001	0,0019±0,0004	0,0037±0,0007	
Предельно допустимая концентрация	5,0	0,001	0,01	1,0	
Примечание: значения предельно допустимых концентраций приняты с учетом СанПиН 1.2.3685–21.					

организмов поглощать и накапливать тяжелые металлы из окружающей среды.

Ранее нами было установлено, что коэффициент биологического поглощения цинка, кадмия и свинца овощной продукцией меньше единицы. Данные свидетельствовали, что овощная продукция, выращенная на почвах сельскохозяйственного назначения Белогорского муниципального округа Амурской области, не накапливало данные элементы [17].

В образцах изучаемой овощной продукции содержание цинка, кадмия, свинца и меди не превышало ПДК (таблица 4, средние значения за 2021–2024 гг.). Отметим, что в образцах картофеля «Винета», капусты белокочанной F₁ «Атрия» содержание свинца близко к ПДК.

Таким образом, овощная продукция не накапливает цинк, кадмий, свинец и медь из почвы и воды.

Интенсивность вовлечения химических элементов из почвы в растения оценивали по значению коэффициента биологического поглощения. Рассчитан-

ные средние значения коэффициента для анализируемых металлов (табл. 5) свидетельствовали об отсутствии накопления тяжелых металлов в овощной продукции по системе «почва – растение» (коэффициент ниже единицы).

Однако более высокое значение соответствующего коэффициента по меди по сравнению с другими металлами подтверждает ее активное поглощение, что может быть связано с ролью меди как микроэлемента, необходимого для жизнедеятельности растений.

По содержанию в овощной продукции тяжелые металлы располагаются в следующий убывающий ряд:

$$\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd}$$

Заключение. На основании изучения содержания тяжелых металлов в почве, минеральных удобрениях, воде для полива и овощной продукции, выращенной в 2021–2024 гг. в крестьянском (фермерском) хозяйстве (с. Каникурган Благовещенского муниципального округа Амурской области), можно сделать выводы:

Таблица 4 – Содержание тяжелых металлов в овощах ($P = 0,95$)Table 4 – Heavy metal content in vegetables ($P = 0.95$)

Показатели	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь	В мг/кг (in mg/kg)
Свекла столовая F ₁ «Пабло»	0,61±0,09	0,011±0,002	0,26±0,04	1,11±0,17	
Морковь F ₁ «Abaco»	0,63±0,09	0,011±0,002	0,34±0,05	1,24±0,19	
Картофель «Винета»	0,58±0,09	0,016±0,002	0,39±0,06	1,22±0,18	
Капуста белокочанная F ₁ «Атрия»	0,55±0,08	0,017±0,003	0,36±0,05	1,26±0,19	
Предельно допустимые концентрации	50	0,03	0,50	10	
Примечание: значения предельно допустимых концентраций приняты с учетом норм ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».					

Таблица 5 – Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов овощами
Table 5 – Biological absorption coefficients of heavy metals in vegetables

Виды овощей	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Свекла столовая F ₁ Пабло	0,02	0,001	0,02	0,13
Морковь F ₁ Abaco	0,02	0,001	0,02	0,14
Картофель Винета	0,02	0,010	0,03	0,14
Капуста белокочанная F ₁ Атрия	0,02	0,020	0,03	0,14

1. Содержание цинка, кадмия, свинца и меди в почвах было значительно меньше ориентировочно допустимых концентраций, но незначительно превышало фоновые концентрации.

2. По причине содержания примесей суперфосфат и карбамидов являются источниками поступления тяжелых металлов в почву.

3. В воде для полива и в овощной продукции содержание цинка, меди, свинца и кадмия значительно меньше предельно допустимых концентраций.

Таким образом, можно заключить, что исследованная овощная продукция не накапливает тяжелые металлы из почвы и отвечает критериям безопасности для потребления населением.

Список источников

1. Nasarova N. E., Lazutina A. L., Lebedeva T. E., Batsuna Y. V., Statuev A. A. The use of plant raw materials in the production of meat pate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1052. P. 012063. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012063. EDN YNKURK.
2. Решетник Е. И., Пакусина А. П., Платонова Т. П., Грибанова С. Л., Бабухадия К. Р., Школьников П. Н. Применение сырьевых ингредиентов из корнеплодов свеклы в пищевой промышленности // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 2. С. 132–138. doi: 10.20914/2310-1202-2024-2-132-137. EDN YNRNVS.
3. Nossain C. M., Choudhuri S., Ali K. A., Das R. Functional foods for chronic disease prevention // Mukherjee B. (Eds.). Dietary supplements and nutraceuticals. Springer Singapore, 2025. P. 631–662. doi: 10.1007/978-981-97-9936-7_20-1.
4. Melim C., Cabral C., Oliveira P. J., Lauro I. M., Pires I. M. The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (*Brassicaceae*) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics // Pharmaceutics. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 190. doi: 10.3390/pharmaceutics14010190. EDN OJTJKU.
5. Панова Л. П. Химические показатели безопасности овощной продукции // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Т. 18. № 4. С. 29–35. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35. EDN MNTNTF.
6. Слабко Ю. И., Лопатина А. А. Аккумуляция кадмия в почве и растениях сои под влиянием минеральных удобрений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. Вып. 2 (113). С. 14–21. EDN VQVZQP.
7. Волкова В. А., Воронкова Н. А., Дороненко В. Д., Балабанова Н. Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и соломы на содержание тяжелых металлов в почве и зерне ячменя // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 2 (22). С. 152–159. EDN XILNZ.
8. Гилев А. М., Рыбачук Н. А., Брикман А. В., Нестерова О. В., Сакара Н. А. Содержание подвижных форм тяжелых металлов и углерода в агропочвах при внесении минерального удобрения // Перспективные направления рационального землепользования и цифровизация земледелия : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Курск : Курский федеральный аграрный научный центр, 2023. С. 312–316. EDN EONTMC.
9. Карпова Е. А. Длительное применение удобрений и тяжелые металлы в агросистемах // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 2. С. 19–22. EDN JXDAVD.

10. Куликова А. Х., Захаров Н. Г., Касимов И. Р. Известкование чернозема выщелоченного в Среднем Поволжье. Ульяновск : Ульяновский государственный аграрный университет, 2024. 184 с. EDN WUHHBL.
11. Мерзляя Г. Е. Нитраты и тяжелые металлы в агроценозах при длительном применении органических удобрений // Агрохимия. 2024. № 8. С. 95–104. doi: 10.31857/S0002188124080136. EDN CDJWAW.
12. Пугаев С. В., Прокина Л. Н. Влияние минеральных удобрений и известкования на содержание и биологическое поглощение тяжелых металлов растениями овса // Агрохимия. 2025. № 3. С. 68–76. doi: 10.31857/S0002188125030098. EDN UQIJIW.
13. Пугаев С. В., Прокина Л. Н. Влияние внесения удобрений и мелиоранта на подвижность тяжелых металлов в слоях чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого // Агрохимия. 2025. № 1. С. 81–88. doi: 10.31857/S0002188125010106. EDN VBZGPW.
14. Palisoc S. T., Estioko L. C. D., Natividad M. T. Voltammetric determination of lead and cadmium in vegetables by graphene paste electrode modified with activated carbon from coconut husk // Materials Research Express. 2018. Vol. 5 (8). No. 085035. doi: 10.1088/2053-1591/aad43a.
15. Бородина Н. А. Применение модифицированной методики Тессиера для определения подвижных форм тяжелых металлов в фоновых почвах Амурской области // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. Биологические науки. 2022. Т. 1–1 (64). С. 6. doi: 10.24412/2500-1000-2022-1-1-6-10. EDN JRKGTT.
16. Комаров В. И., Селиванов О. Г., Марцев А. А., Подолец А. А., Лукьянов С. Н. Содержание тяжелых металлов в пахотном горизонте почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области // Агрохимия. 2019. № 12. С. 75–82. doi: 10.1134/S0002188119100089. EDN ELDGXX.
17. Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Klimenko V. S. Voltammetric determination of heavy metals in soil and vegetable produce // Russian Journal of Physical Chemistry. 2024. Vol. 98. No. 7. P. 1396–1399. doi: 10.1134/S0036024424700390. EDN JVCJGI.

References

1. Nasarova N. E., Lazutina A. L., Lebedeva T. E., Batsuna Y. V., Statuev A. A. The use of plant raw materials in the production of meat pate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022;1052:012063. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012063. EDN YNKURK.
2. Reshetnik E. I., Pakusina A. P., Platonova T. P., Gribanova S. L., Babukhadiya K. R., Shkolnikov P. N. Application of raw ingredients from beet roots in the food industry. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*, 2024;86;2:132–138. doi: 10.20914/2310-1202-2024-2-132-137. EDN YNRNVS (in Russ.).
3. Nossain C. M., Choudhuri S., Ali K. A., Das R. Functional foods for chronic disease prevention. In.: Mukherjee B. (Eds.). *Dietary supplements and nutraceuticals*, Springer Singapore, 2025, P. 631–662. doi: 10.1007/978-981-97-9936-7_20-1.
4. Melim C., Cabral C., Oliveira P. J., Lauro I. M., Pires I. M. The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (*Brassicaceae*) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics. *Pharmaceutics*, 2022;14;1:190. doi: 10.3390/pharmaceutics14010190. EDN OJTJKU.
5. Panova L. P. Chemical safety indicators of vegetable products. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2024;18;4:29–35. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35. EDN MNTNTF (in Russ.).
6. Slabko Yu. I., Lopatina A. A. Accumulation of cadmium in soil and soybean plants under the influence of mineral fertilizers. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016;2(113):14–21. EDN VQVZQP (in Russ.).
7. Volkova V. A., Voronkova N. A., Doronenko V. D., Balabanova N. F. The influence of continuous application of mineral fertilizers and straw on the content of heavy metals in soil and barley grain. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*, 2019;2(22):152–159. EDN XILZNZ (in Russ.).
8. Gilev A. M., Rybachuk N. A., Brikman A. V., Nesterova O. V., Sakara N. A. Content of mobile forms of heavy metals and carbon in agro-soils when mineral fertilizer is applied. Proceedings from Promising areas of rational land use and digitalization of agriculture: *VII Mezhdunarodnaya*

nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 312–316), Kursk, Kurskii federal'nyi agrarnyi nauchnyi tsentr, 2023. EDN EONTMC (in Russ.).

9. Karpova E. A. Long-term fertilizers and heavy metals in agroecosystems. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2008;2:19–22. EDN JXDAVD (in Russ.).

10. Kulikova A. Kh., Zakharov N. G., Kasimov I. R. *Liming of leached chernozem in the Middle Volga region*, Ul'yanovsk, Ul'yanovskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2024, 184 p. EDN WUHHBL (in Russ.).

11. Merzlaya G. E. Nitrates and heavy metals in agroecosystems during prolonged use of organic fertilizers. *Agrokhimiya*, 2024;8:95–104. EDN CDJWAW (in Russ.).

12. Pugaev S. V., Prokina L. N. Influence of mineral fertilizers and liming on the content and biological absorption of heavy metals by oat plants. *Agrokhimiya*, 2025;3:68–76. doi: 10.31857/S0002188125030098. EDN UQIJIW (in Russ.).

13. Pugaev S. V., Prokina L. N. The effect of fertilization and reclamation on the mobility of heavy metals in the layers of heavy loamy leached chernozem. *Agrokhimiya*, 2025;1:81–88. doi: 10.31857/S0002188125010106. EDN VBZGPW (in Russ.).

14. Palisoc S. T., Estioko L. C. D., Natividad M. T. Voltammetric determination of lead and cadmium in vegetables by graphene paste electrode modified with activated carbon from coconut husk. *Materials Research Express*, 2018;5(8):085035. doi: 10.1088/2053-1591/aad43a.

15. Borodina N. A. Application of the modified Tessier technique for the determination of mobile forms of heavy metals in the background soils of the Amur region. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. Biologicheskie nauki*, 2022;1–1(64):6. doi: 10.24412/2500-1000-2022-1-1-6-10. EDN JRKGTT (in Russ.).

16. Komarov V. I., Selivanov O. G., Martsev A. A., Podolets A. A., Lukyanov S. N. Content of heavy metals in the arable horizon of agricultural soils in the Vladimir region. *Agrokhimiya*, 2019;12:75–82. doi: 10.1134/S0002188119100089. EDN ELDGXK (in Russ.).

17. Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Klimenko V. S. Voltammetric determination of heavy metals in soil and vegetable produce. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 2024;98; 7:1396–1399. doi: 10.1134/S0036024424700390. EDN JVCJGI.

© Егорова И. В., Панова Л. П., Родионова Н. А., Смирнова В. Н., 2025

Статья поступила в редакцию 14.11.2025; одобрена после рецензирования 05.12.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 14.11.2025; approved after reviewing 05.12.2025; accepted for publication 08.12.2025.

Информация об авторах

Ирина Владимировна Егорова, доктор химических наук, профессор, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8799-608X>, Author ID: 53236, bgpu.chim.egorova@mail.ru;

Людмила Петровна Панова, кандидат химических наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9524-7529>, Author ID: 49718, panovaljuda.71@mail.ru;

Наталья Александровна Родионова, кандидат химических наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-2675>, Author ID: 738859, rona20@mail.ru;

Виктория Николаевна Смирнова, студент, Благовещенский государственный педагогический университет, vika21031947@gmail.com

Information about the authors

Irina V. Egorova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8799-608X>, Author ID: 53236, bgpu.chim.egorova@mail.ru;

Lyudmila P. Panova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9524-7529>, Author ID: 49718, panovaljuda.71@mail.ru;

Natalia A. Rodionova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-2675>, Author ID: 738859, rona20@mail.ru;

Victoria N. Smirnova, Student, Blagoveshchensk State Pedagogical University, vika21031947@gmail.com

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 633.11:631.582

EDN ESQVRM

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-24-36>

Реакция яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в длительном стационарном севообороте

Илья Александрович Кубасов¹, Виктор Владимирович Епифанцев²

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

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ 89145656ilya@gmail.com

Аннотация. Проведенные исследования посвящены изучению влияния удобрений на различных фосфорных уровнях, образовавшихся в результате длительного использования в полевом севообороте минеральных и органоминеральной системы удобрений, на формирование зерновой урожайности яровой пшеницы и ее качественных характеристик. Опыт проводили в 2022–2024 гг. в пятипольном длительном стационаре Всероссийского научно-исследовательского института сои на луговой черноземовидной почве в Амурской области. Исследованиями установлено, что внесение азотно-фосфорного ($N_{42}P_{48}$) и органоминеральной системы ($N_{24}P_{30}$ + навоз 4,8 т/га) удобрений в почву увеличивало содержание минерального азота и подвижного фосфора в почве за вегетационный период культуры. В фазе «кущение – выход в трубку» наблюдалось значительное увеличение прироста воздушно-сухого вещества при внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) на почву с повышенным уровнем фосфора (55–95 мг/кг). С фазы колошения органоминеральная система удобрений ($N_{24}P_{30}$ + 4,8 т/га навоза) в почве с повышенным содержанием подвижных фосфатов (55–95 мг/кг) обеспечивала прирост воздушно-сухого вещества на 0,32–0,67 т/га выше контрольного варианта. Наивысшая урожайность яровой пшеницы была достигнута на почве с повышенным уровнем подвижного фосфора (55–95 мг/кг) при использовании минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и комплексного минерального и органического удобрения ($N_{24}P_{30}$ + 4,8 т/га навоза). Прибавка к контролю составила соответственно 0,64 и 0,40 т/га. Статистически значимое увеличение над контролем показателей сырой клейковины, индекса деформации и содержания протеина в зерне пшеницы наблюдалось в вариантах с внесением азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и органоминерального удобрения ($N_{24}P_{30}$ + 4,8 т/га навоза) на почву с повышенным уровнем подвижного фосфора (55–95 мг/кг). Корреляционный анализ показал, что в фазе колошения основными элементами питания, влияющими на накопление белка, являются азот и фосфор (коэффициенты корреляции составили соответственно 0,63–0,94 и 0,39–0,70).

Ключевые слова: яровая пшеница, длительный опыт, удобрения, урожайность, зерно, качество, азот, фосфор, сухая масса

Для цитирования: Кубасов И. А., Епифанцев В. В. Реакция яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в длительном стационарном севообороте // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 24–36. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-24-36>.

Response of spring wheat to mineral nitrogen-phosphorus and organic fertilizer in a long-term stationary crop rotation

Ilya A. Kubasov¹, Viktor V. Epifantsev²

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

Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ 89145656ilya@gmail.com

Abstract. The conducted studies are devoted to the study of the effect of fertilizers at various phosphorus levels, formed as a result of prolonged use of mineral and organomineral fertilizer systems in field crop rotation, on the formation of grain yields of spring wheat and its qualitative characteristics. The experiment was conducted in 2022–2024 (All-Russian Scientific Research Institute of Soybean) on meadow chernozem soil in the Amur region. It was found that the introduction of nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) and organomineral fertilizers ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha manure) fertilizers into the soil increased the content of mineral nitrogen and mobile phosphorus during the growing season of the crop. In the "tillering – tube" phase, there was a significant increase in the growth of air-dry matter when applying mineral nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) to soil with an increased phosphorus level (55–95 mg/kg). From the earing phase, organomineral fertilizers ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha of manure) in soil with a high content of mobile phosphates provided an increase in air-dry matter by 0.32–0.67 t/ha. The highest yield of spring wheat was achieved on soil with an increased level of mobile phosphorus (55–95 mg/kg) using mineral nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) and complex mineral and organic fertilizer ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha of manure). A statistically significant increase over the control in crude gluten, strain index, and protein content in wheat grains was observed in variants with nitrogen-phosphorus fertilizer ($N_{42}P_{48}$) and organomineral fertilizer ($N_{24}P_{30} + 4.8$ t/ha of manure) applied to soil with an increased level of mobile phosphorus (55–95 mg/kg). Correlation analysis showed that in the earing phase, the main nutrients affecting protein accumulation are nitrogen and phosphorus (correlation coefficients were 0.63–0.94 and 0.39–0.70, respectively).

Keywords: spring wheat, long-term experience, fertilizers, yield, grain, quality, nitrogen, phosphorus, dry mass

For citation: Kubasov I. A., Epifantsev V. V. Response of spring wheat to mineral nitrogen-phosphorus and organic fertilizer in a long-term stationary crop rotation. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:24–36. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-24-36>.

Введение. В настоящее время получение высоких урожаев яровой пшеницы с заданными качественными характеристиками зерна в условиях Амурской области ограничивается, с одной стороны, влиянием неблагоприятных погодных факторов, с другой – ограниченным почвенным плодородием. Если устранение негативного гидротермического фактора неподконтрольно человеку, то регулирование плодородия почвы представляется весьма возможным.

Особое место в этом плане занимает внесение удобрений на почвах с низким содержанием основных элементов пита-

ния (азота, фосфора и калия) для роста и развития культурных растений.

Яровая пшеница относится к культуре с повышенной потребностью в азотном и фосфорном питании в критические фазы развития – кущение и выход в трубку, когда в зачаточном колосе начинают формироваться количество членников колоскового стержня и колосков, что предопределяет потенциальную урожайность посевов культуры. Дефицит азота и фосфора в указанные фазы приводит к нарушению механизма закладки колоса и последующее обильное снабжение растений элементами питания не окажет положи-

тельного действия на величину полученного урожая [1, 2].

Диагностическим признаком хорошего развития посевов яровой пшеницы является формирование сухой надземной массы растений и поглощение корневой системой в достаточном количестве азота и фосфора. Последний элемент имеет важное значение в процессах обмена веществ, протекающих в растительной клетке. Благодаря его вхождению в макроэргические связи аденоzinтрифосфорной кислоты (АТФ), которые являются поставщиком энергии, фосфор помогает поглощать другие элементы питания, а также осуществлять синтез новых органических соединений [3]. Многими исследователями отмечено, что на повышенном фосфорном уровне при внесении азотных удобрений коэффициент использования последних значительно повышается, в результате чего увеличивается выход зерновой продукции и возрастает ее белковость [4, 5].

Цель исследований – установить реакцию яровой пшеницы на минеральное азотно-фосфорное и органическое удобрение в севообороте при длительном использовании удобрений. В задачи исследований входило: изучить динамику минерального азота и подвижного фосфора почвы в период вегетации яровой пшеницы; определить содержание азота и накопление воздушно-сухой массы в растениях

по фазам; установить урожайность, зависимость качества зерна от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором; получить корреляционную зависимость показателей зерна яровой пшеницы от содержания подвижных форм питательных веществ в почве.

Объекты, условия и методика исследований. Полевые исследования проводили в пятипольном полевом севообороте длительного стационарного опыта с удобрениями на базе Всероссийского научно-исследовательского института сои в период 2022–2024 гг. Почва – луговая черноземовидная.

Длительные стационарные опыты с удобрениями были заложены последовательно на трех полях севооборота еще в 1962–1964 гг. В. Т. Куркаевым.

Исследования проводили с яровой пшеницей, которая была третьей и пятой культурой в стационарном пятипольном севообороте. Чередование культур наглядно отражено в таблице 1. В опыте возделывали сорт мягкой яровой пшеницы Арюна. Общая площадь делянки – 180 м², учетной – 72 м². Культуры в севообороте чередуются во времени и пространстве; повторность вариантов в опыте трехкратная, размещение систематическое.

Использовалась общепринятая для Амурской области агротехника возделывания, которая включала: отвальной

Таблица 1 – Схема опыта

Table 1 – Scheme of experience

Степень обеспеченности почвы подвижным Р ₂ O ₅ , мг/кг	Номер варианта (среднегодовая доза удобрений на 1 га)	Соя + овес (первая культура)	Соя (вторая культура)	Пшеница (третья культура)	Соя (четвертая культура)	Пшеница (пятая культура)
Низкая (27–35)	1. Без удобрений	без удобрений	без удобрений	без удобрений	без удобрений	без удобрений
Средняя (37–50)	2. Р ₃₀	Р ₃₀	Р ₆₀	Р ₆₀	не вносились	не вносились
Низкая (27–35)	3. N ₂₄	N ₆₀	N ₃₀	N ₃₀	не вносились	не вносились
Средняя (37–50)	4. N ₂₄ Р ₃₀ K ₂₄	N ₆₀ Р ₃₀ K ₆₀	N ₃₀ Р ₆₀ K ₃₀	N ₃₀ K ₃₀	Р ₆₀	не вносились
Повышенная (55–95)	5. N ₄₂ Р ₄₈	N ₉₀ Р ₉₀	Р ₆₀	N ₆₀ Р ₃₀	Р ₃₀	N ₆₀ Р ₃₀
Повышенная (55–95)	6. N ₂₄ Р ₃₀ + навоз (4,8 т/га)	N ₆₀ Р ₃₀ + навоз (12 т/га)	N ₃₀ Р ₆₀	N ₃₀	Р ₆₀ + навоз (12 т/га)	не вносились

вспашку с осени, ранневесенне бороно-вание, внесение удобрений, посев яровой пшеницы. В фазу кущения для борьбы с сорной растительностью посевы обрабатывались следующими гербицидами: Балерина – 0,5 л/га, Аксиал – 1,0 л/га, Магнум – 10 г/га. Минеральные удобрения (аммиачная селитра, аммофос, калий хлористый) и полууперевший навоз крупного рогатого скота вносили вручную под предпосевную культивацию согласно схеме опыта (табл. 1).

По истечении семи ротаций севооборота (35 лет) при систематическом внесении азотно-фосфорных минеральных и органических удобрений было сформировано три уровня обеспеченности почвы подвижным фосфором (с содержанием P_2O_5 , мг/кг почвы) [6]:

- низкий – 27–35 (варианты 1 и 3);
- средний – 37–50 (варианты 2 и 4);
- повышенный – 55–95 (варианты 5 и 6).

Соответствие вариантов опыта к фосфорным уровням проводили определением в них подвижного фосфора в почве, отобранный с осени после уборки предшествующей культуры – сои и соево-овсяной смеси. Стоит отметить, что предшественник оказывал сильное влияние на сложившиеся уровни обеспеченности подвижными фосфатами наравне с непосредственным внесением удобрений.

Так, в пятой культуре севооборота, предшественником которой была соя, содержание подвижного фосфора варьировало в 2022 г. и 2023 г. – от 29 до 95 и от 29 до 74 мг/кг почвы соответственно. В третьей культуре севооборота этот показатель в 2024 г. варьировал в пределах 26–123 мг/кг почвы (предшественник соя) и выходил за рамки установленного уровня обеспеченности подвижным фосфором, предложенной ранее [6].

На сформированных уровнях плодородия изучалось влияние удобрений при различной обеспеченности подвижным фосфором на ростовые процессы яровой пшеницы и качественные показатели зерна. В период проведения исследований проводили фенологические наблюдения в основные фазы роста и развития: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, молочная спелость, полное созревание.

В зерне пшеницы определяли количество сырого белка на ИК-анализаторе «FOSS NIRSystems 5000» [7].

Определение массовой доли и качества сырой клейковины в зерне яровой пшеницы проводили с учетом требований ГОСТ Р 54478–2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице».

Отбор почвенных образцов выполняли в 17–20 точках с делянки пахотного слоя почвы (0–20 см) тростевым буром в основные фазы роста развития культуры. В почвенных образцах устанавливали: обменный аммоний и нитратный азот (методом ЦИНАО); подвижный фосфор и калий (методом А. Т. Кирсанова). При этом в полном объеме учтены требования действующих государственных стандартов по исследованию почвы.

Гидротермические условия в период проведения исследований были различными по тепло- и влагообеспеченности. Благоприятные условия для формирования повышенной урожайности яровой пшеницы оказались в 2022 и 2024 гг., когда среднесуточные температуры воздуха за вегетационные периоды были выше многолетнего значения на 0,5 °С и 1,3 °С соответственно, при сумме осадков, близкой к норме.

В то же время погодные условия 2023 г. характеризовались повышенными температурами (на 0,7 °С) и количеством осадков (на 49 мм) относительно среднемноголетних значений.

Результаты исследований и их обсуждение. Из изучаемых вариантов применения удобрений существенное влияние на содержание минерального азота в пахотном слое почвы оказали только азотно-фосфорное удобрение в дозе $N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ совместно с навозом (4,8 т/га). При этом содержание минерального азота повысилось на 18,0 и 12,3 мг/кг почвы соответственно (табл. 2).

С начального периода развития и до полной спелости отмечается плавное снижение минерального азота с наступлением последующей фазы развития по всем вариантам опыта. Относительное уменьшение с кущения до созревания яровой пшеницы составляет 64–54 %, что свиде-

Таблица 2 – Динамика минерального азота почвы в период вегетации яровой пшеницы, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 2 – Dynamics of soil mineral nitrogen during the growing season of spring wheat, on average for 2022–2024

В мг/кг (in mg/kg)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5	Номер варианта	Фазы развития				
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость	полная спелость
Низкая (27–35)	1	22,8	16,0	13,9	11,9	10,5
Средняя (37–50)	2	21,6	17,8	13,9	11,0	11,2
Низкая (27–35)	3	23,0	22,5	14,7	11,4	11,1
Средняя (37–50)	4	25,7	19,7	14,8	11,6	12,1
Повышенная (55–95)	5	40,8	35,8	20,5	14,1	14,7
Повышенная (55–95)	6	35,1	28,4	18,5	20,5	13,5
HCP_{05}		10,1	9,3	2,1	10,0	1,9
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$

тельствует о потреблении азота растениями яровой пшеницы.

По данным Е. Т. Наумченко с соавторами (2020), на формирование вегетативной массы пшеницы большое влияние оказывает содержание в достаточном количестве азота под посевом культуры в начальные периоды развития [2]. Нашиими исследованиями установлена тесная корреляционная связь между содержанием минерального азота почвы и нарастанием воздушно-сухой массы в фазу кущения и фазу выхода в трубку (коэффициенты корреляции равны соответственно 0,90 и 0,86). Затем с наступлением каждой последующей фазы связь между этими показателями ослабевает: в фазу колошения коэффициент корреляции равен 0,61; в фазу молочной спелости – 0,43.

Таким образом, повышению уровню обеспеченности минеральным азотом луговой черноземовидной почвы под яровой пшеницей способствовали применение азотно-фосфорных удобрений и их совместное применение с навозом ($N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)).

За последние 11 лет в Амурской области почвы с низким уровнем подвижного фосфора перешли в категорию среднеобеспеченных, что связано с применением

минеральных удобрений и освоением залежных земель [8]. Однако использование интенсивных сортов сельскохозяйственных культур приводит к преобладанию выноса фосфора над его поступлением в почву [8]. Поэтому пополнение запасов подвижного фосфора в почве возможно только путем применения удобрений.

На образование и накопление в почве подвижных фосфатов большее влияние оказали фосфорные удобрения, которые стабилизировали фосфорное питание растений яровой пшеницы на протяжении всего периода вегетации (табл. 3). По сравнению с контрольным вариантом внесение в почву P_{30} (как в одностороннем порядке, так и в составе полного минерального удобрения) повысило содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы в фазу кущения на 22,2–31,1 %. Увеличение дозы фосфора до 48 кг/га в составе азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) повысило содержание P_2O_5 в почве в фазу кущения фактически в 2 раза по сравнению с контрольным вариантом.

Применение азотно-фосфорных удобрений в комплексе с навозом ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) обеспечило максимальное содержание подвижных фосфатов и их запасы в почве, составившие 95 мг/кг.

Таблица 3 – Динамика подвижного фосфора почвы по вегетации яровой пшеницы, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 3 – Dynamics of mobile soil phosphorus in spring wheat vegetation, on average for 2022–2024

В мг/кг (in mg/kg)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5	Номер варианта	Фазы развития				
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость	полная спелость
Низкая (27–35)	1	45	37	36	33	33
Средняя (37–50)	2	55	50	46	44	46
Низкая (27–35)	3	27	26	28	25	27
Средняя (37–50)	4	59	66	60	66	64
Повышенная (55–95)	5	89	88	82	81	84
Повышенная (55–95)	6	95	90	87	93	88
HCP_{05}		15	15	12	13	16
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$				

Применение только азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га привело к снижению содержания подвижных фосфатов на 6–18 мг/кг почвы на протяжении всех периодов вегетации, что связано с соответствующим их выносом культурами севооборота.

В результате проведения корреляционного анализа установили тесную корреляционную зависимость между содержанием подвижного фосфора в почве и надземной массой растений яровой пшеницы: в фазу кущения и выхода в трубку коэффициент корреляции составил 0,98; колошения – 0,87; молочной спелости – 0,70. Данная зависимость свидетельствует о том, что хорошая обеспеченность почвы доступными для растений фосфатами увеличивает прирост надземной массы пшеницы. Аналогичные данные получены Е. Т. Наумченко (2020) на луговой черноземовидной почве.

Применение минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$), а также органоминеральной системы ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) приводит к повышению содержания подвижного фосфора в среднем за вегетацию на 130 и 145 % относительно неудобренного варианта. Длительное внесение одного азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га в почве с низкой степе-

нью обеспеченности фосфатами приводит к истощению почвенного запаса подвижных соединений фосфора на 27 %.

По данным П. К. Иванова (1971), яровая пшеница в начальный период развития депонирует большое количество элементов питания для построения структурных единиц растения; в последующие фазы масса растения увеличивается и концентрация их падает [9].

В наших исследованиях отмечалась та же закономерность в отношении накопления растениями азота, максимум которого во всех вариантах опыта приходился на фазу кущения и составлял 3,47–3,58 %; к фазе выхода в трубку его содержание снижалось на 1,03–1,02 %; к фазе колошения – на 1,50–1,54 % и к фазе молочной спелости – на 1,82–1,80 % (табл. 4).

Одновременно со снижением концентрации азота в растениях яровой пшеницы наблюдался активный прирост массы растений: с началом каждой последующей фазы она увеличивалась в 2 раза относительно предыдущей.

Нарастание надземной массы в различные фазы развития относится к диагностическому признаку развития посевов яровой пшеницы; данный показатель напрямую влияет на зерновую продуктив-

Таблица 4 – Относительное содержание азота в растениях яровой пшеницы по фазам развития, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 4 – Relative nitrogen content in spring wheat plants by development phases, on average for 2022–2024

В процентах (in percent)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Фаза развития			
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
Низкая (27–35)	1	3,52	2,56	2,04	1,75
Средняя (37–50)	2	3,55	2,45	2,02	1,70
Низкая (27–35)	3	3,47	2,50	2,04	1,78
Средняя (37–50)	4	3,58	2,47	1,97	1,65
Повышенная (55–95)	5	3,58	2,48	2,07	1,74
Повышенная (55–95)	6	3,55	2,44	2,00	1,71
НСР ₀₅		0,11	0,10	0,05	0,08
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$

ность культуры. В наших исследованиях величина прироста сухой массы растений с каждой последующей фазой развития увеличивалась в 2 и более раз (табл. 5).

Так, в среднем по всем вариантам опыта величина сухой массы составила в

фазы (т/га): кущения – 0,39, выхода в трубку – 0,76, колошения – 1,41 и молочной спелости – 2,82. Сухая масса вегетативной части растений в контролльном варианте изменялась от 0,30 т/га в фазу кущения до 2,35 т/га в фазу молочной спелости.

Таблица 5 – Накопление воздушно-сухой массы яровой пшеницы по фазам роста и развития, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 5 – Accumulation of air-dry mass of spring wheat by growth and development phases, on average for 2022–2024

В т/га (in t/ha)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Фаза развития			
		кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
Низкая (27–35)	1	0,30	0,65	1,30	2,35
Средняя (37–50)	2	0,34	0,71	1,36	2,82
Низкая (27–35)	3	0,29	0,65	1,24	2,77
Средняя (37–50)	4	0,40	0,77	1,45	3,01
Повышенная (55–95)	5	0,52	0,88	1,47	2,92
Повышенная (55–95)	6	0,51	0,88	1,62	3,02
НСР ₀₅		0,14	0,20	0,29	0,65
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

Варьирование биомассы при внесении в опыте только фосфорного удобрения P_{30} (средняя обеспеченность подвижным фосфором 37–50 мг/кг почвы) незначительно превышало неудобренный вариант, составляя 0,34–2,82 т/га, тогда как при применении только азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га (низкая степень обеспеченности подвижным фосфором 27–35 мг/кг почвы) оказалось ниже на 0,05–0,12 т/га.

По убеждению П. К. Иванова (1971), при дисбалансе азота и фосфора в питании растений преобладание последнего приводит к увеличению вегетативной части растений, но к снижению зерновой продуктивности [9].

Ускоренный прирост надземной части растений в ранний период развития («кущение – выход в трубку») происходил в вариантах: со средней обеспеченностью подвижными фосфатами при внесении полного минерального удобрения в дозе $N_{24}P_{30}K_{30}$ (средняя обеспеченность подвижным фосфором 37–50 мг/кг почвы); на повышенном фосфатном уровне с внесением азотно-фосфорного удобрения в дозе $N_{42}P_{48}$ и внесении комплексного органо-минерального удобрения ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) (повышенная обеспеченность подвижным фосфором 55–95 мг/кг почвы). В фазу колошения темпы прироста сухой массы замедляются во всех вариантах опыта, однако в варианте с применением органо-минерального удобрения на фоне повышенной обеспеченности почвы

фосфатами ($N_{24}P_{30}$ + навоз 4,8 т/га + фон 3) темпы роста сохранялись, достигая к фазе молочной спелости 3,02 т/га.

В полевых опытах В. А. Кумаковым (2000) установлено, что в годы, когда прирост сухой массы растений яровой пшеницы после колошения приблизительно равен ее накоплению до колошения, текущий фотосинтез полностью покрывает потребности растения в строительном материале в период формирования и налива зерна [10].

В наших исследованиях это положение подтверждается. Прирост величины сухой массы на фоне 1 (низкая степень обеспеченности подвижным фосфором) в контролльном варианте от фазы кущения до фазы колошения составил 0,99 т/га; за период от колошения до молочной спелости – 1,05 т/га. В вариантах с различной степенью обеспеченности подвижным фосфором и при внесении удобрений накопление биомассы в межфазный период «кущение – колошение» было меньше (0,94–1,11 т/га) по сравнению с периодом «колошение – молочная спелость» (1,42–1,56 т/га), что может свидетельствовать о лучшей реутилизации энергетического материала в период налива зерна.

В среднем за 2022–2024 гг. урожайность яровой пшеницы зависела от применяемых удобрений в опыте и степени обеспеченности подвижным фосфором. Так, в варианте без внесения удобрений (контроль) она составила 2,66 т/га (табл. 6).

Таблица 6 – Урожайность яровой пшеницы в среднем за 2022–2024 гг.

Table 6 – Average yield of spring wheat for 2022–2024

В т/га (in t/ha)

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Среднее значение	Прибавка урожайности
Низкая (27–35)	1	2,66	–
Средняя (37–50)	2	2,62	–0,04
Низкая (27–35)	3	2,80	0,14
Средняя (37–50)	4	2,76	0,10
Повышенная (55–95)	5	3,30	0,64
Повышенная (55–95)	6	3,06	0,40
HCP_{05}		0,37	–
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_t$	–

Одностороннее применение минерального удобрения в дозе 30 кг д. в./га фосфора в почве со средней обеспеченностью подвижным фосфором отмечено снижением урожайности относительно контрольного варианта на 0,04 т/га; незначительное увеличение над контролем было на вариантах с внесением только азотного удобрения в дозе 24 кг д. в./га и полного минерального удобрения ($N_{24}P_{30}K_{24}$) в почве с низкой и средней обеспеченностью подвижным фосфором (прибавка составила 0,14 и 0,10 т/га соответственно).

Самая высокая урожайность сформировалась в варианте с повышенной обеспеченностью почвы подвижным фосфором при внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и минерального удобрения в сочетании с органическим ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)), прибавка относительно контроля составила 0,64 и 0,40 т/га соответственно.

В наших исследованиях, в среднем за 2022–2024 гг. технологические параметры качества зерна достоверно возрастили только при внесении минеральных удобрений в почву на фоне повышений степени обеспеченности подвижным фосфором (табл. 7). Так, в контрольном варианте с низкой обеспеченностью подвижным фосфором масса сырой клейковины составляла 25,9 %, индекс деформации клейковины – 39 ед., белок – 11,35 %. В почве со средней обеспеченностью под-

вижным фосфором (37–50 мг/кг почвы) с внесением только фосфорного удобрения в дозе 30 кг/га масса клейковины снижалась на 1,2 %, количество белка было на уровне неудобренного варианта (11,31 %), а ИДК повышался на 5 ед.

Аналогичные данные были получены В. М. Лапушкиным (2022), когда применение одного фосфорного удобрения в чистом виде не повышало содержание клейковины в зерне яровой пшеницы [4].

При внесении азотного удобрения N_{30} в почву с низкой обеспеченностью подвижными фосфатами количество клейковины повышалось на 0,20 %, тогда как деформационные свойства клейковины на 5 ед., величина белка на 0,46 %. На почве со средней обеспеченностью подвижным фосфором с внесением $N_{24}P_{30}K_{24}$ количество и качество клейковины было на уровне N_{24} , а содержание белка повышалось на 0,34 процентных пункта.

Статистически значимое увеличение массы клейковины и белка было при возделывании яровой пшеницы на фоне с повышенной степенью обеспеченности подвижным фосфором в почве с внесением азотно-фосфорного $N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га) – на 9,1–2,5 и 2,44–0,92 % выше контрольного варианта соответственно (фон 1), а повышение индекса деформации клейковины носило тенденционный характер.

Таблица 7 – Зависимость качества зерна яровой пшеницы от степени обеспеченности почвы подвижным фосфором и внесения удобрений, в среднем за 2022–2024 гг.

Table 7 – Dependence of quality spring wheat grain on the degree of availability of mobile phosphorus and fertilizer application, on average for 2022–2024

Степень обеспеченности подвижным P_2O_5 , мг/кг	Номер варианта	Масса сырой клейковины, %	Индекс деформации клейковины (ИДК), ед.	Белок, %
Низкая (27–35)	1	25,9	39	11,35
Средняя (37–50)	2	24,7	44	11,31
Низкая (27–35)	3	26,1	44	11,81
Средняя (37–50)	4	26,5	43	11,69
Повышенная (55–95)	5	35,0	51	13,89
Повышенная (55–95)	6	28,4	41	12,27
HCP_{05}		1,7	5	0,61
Значение критерия Фишера (F), у. е.		$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$	$F_{\phi} > F_{\tau}$

По данным ряда исследователей, белок и клейковина зерна яровой пшеницы хорошо коррелируют с запасами элементов питания в почве. При этом самые сильные связи выявлены в период формирования и налива зерна [11, 12].

В наших исследованиях в фазу колошения отмечается сильная корреляционная зависимость между содержанием в почве минерального азота и качественными показателями зерна (табл. 8).

В фазу молочной спелости сопряженность между азотом почвы массы сырой клейковины, ИДК, содержанием белка в зерне снижалась. Уровень обеспеченности почвы подвижным фосфором влияет на формирование массы сырой клейковины и белка (коэффициент корреляции равен 0,63–0,70) в фазы колошения и молочной спелости. Связь между индексом деформации клейковины и содержанием обменного калия была средней отрицательной в фазу колошения (минус 0,47) и молочной спелости (минус 0,46); взаимосвязь с другими показателями качества была слабой обратной.

Заключение. Внесение азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$), его сочетание с органическим удобрением ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) в почву с повышенным фосфатным уровнем (55–95 мг/кг почвы) значительно увеличивало содержание в почве в среднем за вегетационный период

на 55–68 % минерального азота и на 130–145 % подвижного фосфора по сравнению с вариантом без применения удобрений.

При внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) в почве с повышенным уровнем фосфора наблюдался быстрый прирост сухого вещества в фазе «кущения – выхода в трубку», составивший 0,22–0,23 т/га. С начала фазы колошения органоминеральная система удобрений ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) в почве с высоким содержанием подвижных фосфатов обеспечивала прибавку валового сухого вещества на 0,32–0,67 т/га относительно контрольного варианта.

Наибольшее накопление азота в фазе кущения (на 0,06 % выше контрольного варианта) наблюдалось у растений яровой пшеницы в варианте с внесением азотно-фосфорного удобрения в дозе $N_{42}P_{48}$ и органоминеральной системы удобрения ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) с повышенной степенью обеспеченности почвы подвижными фосфатами (55–95 мг/кг почвы).

Самая высокая урожайность яровой пшеницы сформировалась в варианте с повышенной обеспеченностью почвы подвижным фосфором (55–95 мг/кг почвы) при внесении минерального азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$) и его сочетания с органическим удобрением ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)), где прибавка к контролю составила 0,64 и 0,40 т/га соответственно.

Таблица 8 – Корреляционная зависимость качественных показателей зерна яровой пшеницы от содержания подвижных форм питательных веществ в почве в фазы колошения и молочной спелости (среднее за 2022–2024 гг.)

Table 8 – Correlation dependence of quality indicators of spring wheat grain on the content of mobile forms of nutrients in the soil during the earing and milk ripeness phases (average for 2022–2024)

Содержание в почве	Коэффициент корреляции (r) между		
	масса сырой клейковины, %	индекс деформации клейковины (ИДК), ед.	белок, %
<i>Колошение</i>			
$N_{\text{мин}}$	0,93	0,63	0,94
P_2O_5	0,70	0,39	0,70
<i>Молочная спелость</i>			
$N_{\text{мин}}$	0,37	-0,09	0,39
P_2O_5	0,63	0,31	0,63

Статистически достоверный рост качественных показателей (сырая клейковина, индекс деформации и количество протеина) в зерне пшеницы отмечен в вариантах с внесением азотно-фосфорного удобрения ($N_{42}P_{48}$), а также органоминеральной системы удобрений ($N_{24}P_{30}$ + навоз (4,8 т/га)) в почве с повышенной степенью

обеспеченности подвижным фосфором (55–95 мг/кг почвы).

Методом парной корреляции установлено, что основными элементами питания в фазу колошения, влияющими на накопление белка, являются азот и фосфор (коэффициенты корреляции составили 0,63–0,94 и 0,39–0,70 соответственно).

Список источников

1. Бесалиев И. Н., Панфилова А. Л. Продолжительность и условия межфазных периодов вегетации как факторы продуктивности сортов яровой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 202–212. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-202. EDN QQWJUM.
2. Наумченко Е. Т., Банецкая Е. В. Потребление азота яровой пшеницей на разных уровнях обеспеченности подвижным фосфором // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 23–27. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10604. EDN JLSMVQ.
3. Нестеренко В. А., Лапушкин В. М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // Плодородие. 2019. № 3 (108). С. 19–21. doi: 10.25680/S19948603.2019.108.06. EDN ZSOCXJ.
4. Лапушкин В. М., Муравьева О. А., Лапушкина А. А., Волкова М. А. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений и формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы // Плодородие. 2022. № 3 (126). С. 6–12. doi: 10.25680/S19948603.2022.126.02. EDN HSBTCM.
5. Белобусов А. С., Лапушкин В. М., Верниченко И. В. Влияние некорневой подкормки яровой пшеницы сульфатом цинка на усвоение отдельных форм азота при разной обеспеченности почвы подвижным фосфором // Агрохимический вестник. 2021. № 6. С. 29–33. doi: 10.24412/1029-2551-2021-6-006. EDN IWOOQZ.
6. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т. Система удобрений как средство воспроизводства плодородия почвы и стабилизации продуктивности полевого севооборота // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 38–41. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/38-41. EDN CBIUKY.
7. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей : учебное пособие. Благовещенск : Одеон, 2016. 115 с. EDN VTTCGR.
8. Дудукалов К. А. Состояние плодородия пахотных почв южной зоны Амурской области // Земледелие. 2017. № 1. С. 30–32. EDN YLNAND.
9. Иванов П. К. Яровая пшеница. М. : Колос, 1971. 28 с.
10. Кумаков В. А., Евдокимова О. А., Буянова М. А. Способы ранжирования генотипов яровой пшеницы по их потенциальной продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды по накоплению и распределению сухой массы растений в период вегетации // Сельскохозяйственная биология. 2000. № 1. С. 108–112.
11. Суркова Ю. В., Цымбаленко И. Н., Гилев С. Д. Влияние минеральных удобрений и агротехнических приемов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в разных метеоусловиях центральной лесостепной зоны Зауралья // Агрохимия. 2022. № 4. С. 11–17. doi: 10.31857/S0002188122020132. EDN GFDJKN.
12. Скороходов В. Ю., Кафтан Ю. В., Зоров А. А. Качество зерна яровой мягкой и твердой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 260–272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260. EDN ZKWBUN.

References

1. Besaliev I. N., Panfilova A. L. Duration and conditions of interphase vegetation periods as factors of productivity of spring wheat varieties in the Orenburg region. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023;106;3:202–212. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-202. EDN QQWJUM (in Russ.).
2. Naumchenko E. T., Banetskaya E. V. Nitrogen consumption in spring wheat at different levels of mobile phosphorus availability. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020;34;6:23–27. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10604. EDN JLSMVQ (in Russ.).
3. Nesterenko V. A., Lapushkin V. M. The formation of yield and grain quality of spring wheat depending on the doses of nitrogen fertilizers and the availability of mobile phosphorus in the soil. *Plodorodie*, 2019;3(108):19–21 doi: 10.25680/S19948603.2019.108.06. EDN ZSOCXJ (in Russ.).
4. Lapushkin V. M., Muravyova O. A., Lapushkina A. A., Volkova M. A. The effect of soil availability of mobile phosphorus on the effectiveness of nitrogen fertilizers and the formation of elements of the structure of the spring wheat crop. *Plodorodie*, 2022;3(126):6–12. doi: 10.25680/S19948603.2022.126.02. EDN HSBTCM (in Russ.).
5. Belobusov A. S., Lapushkin V. M., Vernichenko I. V. The effect of foliar top dressing of spring wheat with zinc sulfate on the assimilation of individual forms of nitrogen with different soil availability of mobile phosphorus. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2021;6:29–33. doi: 10.24412/1029-2551-2021-6-006. EDN IWOOQZ (in Russ.).
6. Sinegovskaya V. T., Naumchenko E. T. Fertilizer system as a means of reproducing soil fertility and stabilizing field crop rotation productivity. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. Vestnik rossijskoj sel'skokhozyajstvennoj nauki*, 2020;1:38–41. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/38-41. EDN CBIUKY (in Russ.).
7. Sinegovskaya V. T., Naumchenko E. T., Kobozeva T. P. *Research methods in field experiments with soybeans: a textbook*, Blagoveshchensk, Odeon, 2016, 115 p. (in Russ.).
8. Dudukalov K. A. The state of fertility of arable soils in the southern zone of the Amur region. *Zemledelie*, 2017;1:30–32. EDN YLNAND (in Russ.).
9. Ivanov P. K. *Spring wheat*, Moscow, Kolos, 1971, 28 p. (in Russ.).
10. Kumakov V. A., Evdokimova O. A., Buyanova M. A. Methods for ranking spring wheat genotypes by their potential productivity and resistance to adverse environmental factors by accumulation and distribution of dry plant mass during the growing season. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2000;1:108–112 (in Russ.).
11. Surkova Yu. V., Tsymbalenko I. N., Gilev S. D. The influence of mineral fertilizers and agrotechnical techniques on the yield and quality of spring wheat grains in different weather conditions of the central forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Agrokhimiya*, 2022;4:11–17. doi: 10.31857/S0002188122020132. EDN GFDJKN (in Russ.).
12. Skorokhodov V. Yu., Kaftan Yu. V., Zorov A. A. Grain quality of spring soft and durum wheat in crop rotations of Orenburg region. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2023;106;4: 260–272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260. EDN ZKWBUN (in Russ.).

© Кубасов И. А., Епифанцев В. В., 2025

Статья поступила в редакцию 24.09.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

The article was submitted 24.09.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.

Информация об авторах

Кубасов Илья Александрович, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-9437>, Author ID: 1097364, 89145656ilya@gmail.com;

Епифанцев Виктор Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0134>, Author ID: 6556-2643

Information about the authors

Ilya A. Kubasov, Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7395-9437>, Author ID: 1097364, 89145656ilya@gmail.com;

Viktor V. Epifantsev, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0134>, Author ID: 6556-2643

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 633.1+631.8

EDN JXXQJB

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-37-45>

Влияние новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на урожайность зерна пшеницы полбы (*Triticum dicoccum*) сорта Псковитянка

Алексей Михайлович Мазин

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверская область, Тверь, Россия

a.mazin.psk@fnclk.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по влиянию новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на урожайность зерна пшеницы полбы сорта Псковитянка. Научно-исследовательская работа проводилась на опытном поле лаборатории агротехнологий Псковского научно-исследовательского института сельского хозяйства в 2024–2025 гг. Цель исследований – изучить влияние новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы полбы. Препараты применяли в следующих дозах: Страна N (3 л/га), Mg + Zn (0,5–2,0 л/га), Ризобакт (0,1–0,2 л/га), Гумат 7+ (0,3–0,5 л/г). Некорневые подкормки проводились в период вегетации в фазу «полное кущение – начало выхода в трубку». Оптимизация минерального питания под планируемый урожай повышает урожайность полбы в среднем на 15 %. В тоже время применение изучаемых препаратов по фону минерального питания ($N_{90}P_{50}K_{90}$) улучшает количественные показатели элементов структуры урожая полбы: количество зерен в колосе, масса зерна с растения, масса 1 000 зерен. Наилучшие показатели урожайности зерна были получены при внесении препаратов Гумат 7+ и Страна N по фону минерального питания ($N_{90}P_{50}K_{90}$) в фазу «полное кущение – начало выхода в трубку» и составили в среднем за два года исследований 1,94 и 1,88 т/га соответственно. Полученные данные доказывают перспективность применения соответствующих препаратов совместно с основными минеральными удобрениями на сорте полбы Псковитянка.

Ключевые слова: *Triticum dicoccum*, урожайность, сорт, комплексные удобрения, биологический препарат, структура урожая

Финансирование: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Федеральному научному центру лубяных культур (тема № FGSS-2024-0001).

Для цитирования: Мазин А. М. Влияние новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на урожайность зерна пшеницы полбы (*Triticum dicoccum*) сорта Псковитянка // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 37–45. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-37-45>.

Original article

The effect of new complex fertilizers and modern biological products on the yield of wheat spelt (*Triticum dicoccum*) of the Pskovityanka variety

Aleksei M. Mazin

Federal Research Center for Bast Crops, Tver region, Tver, Russian Federation

a.mazin.psk@fnclk.ru

Abstract. The purpose of the research was to establish the effect of new complex fertilizers and modern biological preparations on the yield of wheat spelt of the Pskovityanka variety. The research work was carried out on the experimental field of the Laboratory of Agricultural Technologies of the Pskov Scientific Research Institute of Agriculture in 2024–2025. The preparations were used at the following doses: Strada N (3 l/ha), Mg + Zn (0.5–2.0 l/ha), Rizobact (0.1–0.2 l/ha), Humate 7+ (0.3–0.5 l/g). Foliar fertilization was carried out during the vegetation period in the phase "full tillering – early stem elongation". Optimization of mineral nutrition for the planned harvest increases the yield of wheat spelt by an average of 15%. At the same time, the use of the studied preparations

for the background of mineral nutrition ($N_{90}P_{50}K_{90}$) improves the quantitative indicators of the elements of the crop structure: the number of grains per ear, the weight of grain per plant, the weight of 1,000 grains. The best grain yield indicators were obtained when applying Humate 7+ and Strada N preparations according to the background of mineral nutrition ($N_{90}P_{50}K_{90}$) in the "full tillering – early stem elongation" phase. They averaged 1.94 and 1.88 t/ha over two years, respectively. Research proves the prospects of using the used preparations in conjunction with basic mineral fertilizers on the Pskovityanka spelt variety.

Keywords: *Triticum dicoccum*, yield, variety, complex fertilizers, biological preparation, crop structure

Funding: the work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment to the Federal Research Center for Bast Crops (topic No. FGSS-2024-0001).

For citation: Mazin A. M. The effect of new complex fertilizers and modern biological products on the yield of wheat spelt (*Triticum dicoccum*) of the Pskovityanka variety. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:37–45. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-4-37-45>.

Введение. Пшеница полба (*Triticum dicoccum*) относится к зерновым культурам, которые человек возделывает с древности. Зерно полбы богато незаменимыми аминокислотами, оно содержит 16–18 % белка, что превосходит обычные пшеницы [1]. В последние годы в мире значительно возрос интерес к полбе в связи с диетической ценностью ее зерна, которое используют для изготовления высококачественных крупяных продуктов, необходимых для людей, страдающих диабетом и заболеваниями сердца [2, 3].

Полба имеет и недостатки: относительно невысокие урожаи зерна по сравнению с мягкой и твердой пшеницей, ломкий колос, трудная его вымолачиваемость [4]. Российскими и зарубежными селекционерами методом сложного скрещивания разных форм *T. dicoccum* и разных новейших сортов и доноров ценных признаков *T. durum* и *T. aestivum* впервые получены линии голозерной полбы, зерно которой легко вымолачивается, а растения характеризуются высокими агрономическими признаками [5–7]. К таким сортам относится и сорт Псковитянка селекции Псковского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Полба хорошо отзывается на применение минеральных и органических удобрений. В отличие от пшеницы мягкой она имеет меньшую потребность в азоте [8]. Данная культура отзывчива на внесение низких и средних доз азотных удобрений. Более высокие дозы азота не приводят к дальнейшему повышению урожайности зерна и улучшения его химических характеристик. При внесении повышенных

доз минерального азота полба уступает по урожайности сортам яровой мягкой пшеницы [9–11].

Для получения высоких урожаев на дерново-подзолистой почве растения должны быть обеспечены не только соединениями азота, фосфора и калия, но и микроэлементами, которые активизируют процессы развития растений и способствуют более эффективному использованию основных удобрений. Поэтому необходимо применять минеральные удобрения в комплексе с полным набором макро-, микро- и мезоэлементов, лучше в хелатной форме. Обработка растений и семян пшеницы стимулирующими препаратами, содержащими микроэлементы, обеспечивает максимальное накопление сухого вещества, формирование достаточного фотосинтетического потенциала, что приводит к повышению продуктивности растений [12].

Наиболее перспективным направлением в повышении урожайности зерновых культур является применение микробиологических препаратов, которые обладают ростостимулирующей активностью, увеличивают всхожесть и энергию прорастания семян, усиливают действие минеральных удобрений, повышают устойчивость к стрессам, грибковым и бактериальным заболеваниям [13–15].

Ценные крупяные достоинства, биологические особенности, возрастающий спрос на зерно полбы предопределили необходимость изучить основные элементы технологии ее возделывания в условиях Северо-Западного региона России.

Цель исследований – изучить влияние новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы полбы. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1) выявить влияние минеральных удобрений в сочетании с применением новых комплексных и биологических препаратов на урожайность зерна полбы;

2) установить действие комплексных универсальных удобрений и биологических препаратов на содержание основных элементов минерального питания в растениях полбы и вынос их с урожаем;

3) изучить влияние применяемых комплексных универсальных удобрений и биологических препаратов на изменение баланса элементов минерального питания и плодородие почвы.

Материал и методы исследований. Исследования проводились в период 2024–2025 гг. на опытном поле лаборатории агротехнологий Псковского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Почва опытного участка дерново-слабоподзолистая, легкосуглинистая, с высоким содержанием подвижного фосфора (P_2O_5) – 180 мг/кг почвы, средним содержанием обменного калия (K_2O) (по Кирсанову) – 115 мг/кг почвы, средним содержанием гумуса (по Тюрину) – 2,1 %, со слабокислой реакцией почвенного раствора (pH_{sol} 4,8–5,0). Глубина пахотного слоя составляет 24–26 см.

Обработка почвы включала зяблевую вспашку с ранневесенней культивацией и предпосевное фрезерование опытного участка с внесением минеральных удобрений. Предшественник – многолетние травы. Общая площадь опыта – 576 м², площадь опытной делянки – 24 м²; повторность четырехкратная; размещение делянок рандомизированное.

В рамках опыта предусматривалось внесение дозы минеральных удобрений для достижения предполагаемого уровня урожайности – 2 тонны зерна с гектара. Удобрения вносились перед посевом в количестве, соответствующем $N_{90}P_{50}K_{90}$ килограмм по действующему веществу на гектар. В качестве контроля использовался фон без удобрений.

Схема опыта:

Фактор А – определение отзывчивости полбы на улучшение минерального питания:

первый уровень питания – фон без удобрений (контроль);

второй уровень питания (на расчетный уровень урожайности – 2 т зерна на гектар) – $N_{90}P_{50}K_{90}$.

Фактор В – влияние новых комплексных удобрений и современных биологических препаратов на продуктивность пшеницы полбы:

первый уровень – фон $N_{90}P_{50}K_{90}$ (контроль);

второй уровень – фон ($N_{90}P_{50}K_{90}$) + Гумат 7+ (обработка в фазу «кущения – выхода в трубку»);

третий уровень – фон ($N_{90}P_{50}K_{90}$) + Страна N (обработка в фазу «кущения – выхода в трубку»);

четвертый уровень – фон ($N_{90}P_{50}K_{90}$) + (Mg + Zn) (обработка в фазу «кущения – выхода в трубку»);

пятый уровень – фон ($N_{90}P_{50}K_{90}$) + Ризобакт (обработка в фазу «кущения – выхода в трубку»).

Объект исследований: пшеница полба сорта Псковитянка (*Triticum turgidum L. subsp. dicoccum* (Schrank ex Schubl.) Thell). Родословная: к-9934 × к-20638 (*Triticum dicoccum*) × *Tromb* (*Triticum durum*). Сорт включен в Государственный реестр для всех зон возделывания культуры. Характеристики сорта: голозерный; разновидность руфум; куст полупрямостоячий; растение короткое; колос цилиндрический, короткий, плотный, сильноокрашенный; масса 1 000 зерен 38–41 г; вегетационный период 79–83 дня; устойчив к полеганию; содержание белка 17,6–18,6 %; кулинарные качества хорошие. Данный сорт является среднеспелым. Его урожайность достигает 19,2 ц/га.

Характеристика препаратов, применяемых в опыте: 1. Страна N – жидкое комплексное удобрение с высокой концентрацией азота (27 %), обогащенное макро- и микроэлементами для оптимизации минерального питания и развития растений (% мас): K_2O – 3,0; P_2O_5 – 2,0; MgO – 0,15; SO_3 – 1,26; Fe – 0,03; Mn – 0,05; B – 0,016; Zn – 0,13; Cu – 0,06; Mo – 0,05; Co – 0,001;

Se – 0,001. Содержит янтарную кислоту, витамины РР и В₁₂, кремний. Увеличивает количество продуктивных стеблей, оптимизирует азотное питание, активизирует фотосинтез, снимает стрессы у растений после применения пестицидов и неблагоприятных погодных условий, повышает содержание клейковины и белка в зерне. Препарат применяется для внекорневой подкормки в течении периода вегетации.

2. *Mg + Zn* – жидкое комплексное удобрение с содержанием (г/л): Mg – 75; Zn – 30; N – 52; S – 37; P – 14. Препарат улучшает фотосинтез за счет участия в синтезе хлорофилла; усиливает синтез ростовых веществ – ауксинов; повышает жаро- и засухоустойчивость, морозостойкость растений за счет стабилизации дыхания; увеличивает содержание витаминов (аскорбиновой кислоты и тиамина), сахаров и крахмала; ускоряет метаболизм углеводов, белков и фосфатов; имеет высокую окупаемость. Препарат применяется для внекорневой подкормки в течении периода вегетации.

3. *Ризобакт* представляет микробиологическое удобрение на основе штаммов клубеньковых, ризосферных и филосферных бактерий, фиксирующих азот из воздуха, трансформирующих фосфор и калий из валовых форм почвы в доступные формы для растений. Обладает ростостимулирующей активностью, повышает всхожесть и энергию прорастания семян, способствует усиленному развитию корневой системы, улучшает минеральное питание, повышает устойчивость к стрессам, грибковым и бактериальным заболеваниям. Препарат применяется для предпосевной обработки семян и внекорневой подкормки в течении периода вегетации.

4. *Гумат 7+* составляют водорастворимые соли природных гуминовых кислот – калия и натрия (80 %). Остальная доля приходится на макро- и микроэлементы (азот, фосфор, железо, медь, цинк, марганец, молибден, бор). Активизирует процессы роста растений, увеличивает их устойчивость к болезням, засухе, заморозкам, а также действует как удобрение. Применение препарата сокращает сроки созревания урожая, повышает эффективность действия минеральных удобрений, снижает стресс при применении гербицидов, усиливает иммунитет растений к

грибковым и бактериальным инфекциям. Применяется для предпосевной обработки семян, корневой и внекорневой подкормки в течении периода вегетации.

Препараты применяли в дозах: Странда N – 3 л/га, Mg + Zn – 0,5–2,0 л/га, Ризобакт – 0,1–0,2 л/га, Гумат 7+ – 0,3–0,5 л/г. Некорневые подкормки выполнялись ручным способом в фазу «полное кущение – начало выхода в трубку».

Посев полбы в 2025 г. агрегатом МТЗ-82+СПУ-6 провели 30 апреля. Норма высева составила 5 млн. всхожих семян на 1 га. Всходы появились 13 мая; полные всходы – 16 мая; рядки сформировались 20 мая. По данным наблюдений в предыдущие годы исследований всходы полбы появлялись через 6–11 дней после посева. Продолжительность периода от всходов до колошения составила 43 дня, от колошения до созревания – 45 дней, а полный цикл вегетационного периода полбы достигал 88 дней. Уборку провели 15 августа комбайном «Вектор 410». Метод уборки – сплошной, поделяночный.

Агрохимические анализы почвы и растений выполнены в лаборатории агротехнологий Псковского научно-исследовательского института сельского хозяйства в соответствии с общепринятыми методиками. В работе использовали требования действующей нормативно-технической документации при определении гумуса, гидролитической кислотности, подвижного фосфора и обменного калия в почве; а также сырого протеина в зерне, массы 1 000 семян.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [16].

Изменчивость метеоусловий отмечалась на протяжении всего периода вегетации (табл. 1). Самыми неблагоприятными периодами для роста и развития полбы из-за обилия влаги в 2024 г. были июнь и июль (период «выход в трубку – колошение»); в 2025 г. – май и июнь (период «кущение – выход в трубку»). В 2025 г. среднемесячная температура мая, июня и августа была на 1,0–1,8 °С ниже среднемноголетней. Относительно низкая температура воздуха в первую и вторую декады мая замедлила прорастание семян полбы и переход в фазу кущения.

Таблица 1 – Средняя температура воздуха и сумма осадков (по данным Псковской ЦГМС)**Table 1 – Average air temperature and precipitation (according to the Pskov Central Hydrometeorological Service)**

Периоды		Температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм	
		средне-месячная	отклонение от нормы	сумма за месяц	процент от нормы
Май	2024 г.	14,8	+2,6	9	15
	2025 г.	10,4	-1,8	108	186
Июнь	2024 г.	18,0	+1,8	106	124
	2025 г.	15,2	-1,0	155	182
Июль	2024 г.	19,9	+1,3	110	155
	2025 г.	20,4	+1,8	58	81
Август	2024 г.	17,8	+0,9	134	158
	2025 г.	15,6	-1,3	83	97

Результаты исследований и их обсуждение. Погодные условия, фон минерального питания и применяемые препараты оказали существенное влияние на элементы структуры урожая пшеницы полбы (табл. 2). Более высокие количе-

ственные показатели основных элементов продуктивности были получены в 2024 г. При применении минеральных удобрений в среднем за годы исследований произошло увеличение длины главного колоса на 0,6 см, количества зерен в главном колосе

Таблица 2 – Элементы структуры урожая пшеницы полбы**Table 2 – Elements of the structure of the spelt wheat crop**

Варианты и периоды опыта		Главный колос			Масса зерна с одного растения, г	Масса 1 000 зерен, г
		длина, см	число зерен, шт.	масса зерна, г		
1. Контроль	2024 г.	4,9	30	1,29	2,47	33,4
	2025 г.	5,1	22	0,62	0,79	28,5
	среднее	5,0	26	0,95	1,63	31,0
2. N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀ (фон)	2024 г.	5,2	32	1,29	2,78	37,0
	2025 г.	6,0	27	0,79	1,09	33,5
	среднее	5,6	30	1,04	1,93	35,2
3. Фон + Гумат7+	2024 г.	5,4	36	1,47	3,46	37,6
	2025 г.	6,3	29	0,84	1,31	36,2
	среднее	5,8	33	1,15	2,38	36,9
4. Фон + Странда N	2024 г.	5,0	33	1,30	2,87	37,5
	2025 г.	5,7	27	0,85	1,52	36,0
	среднее	5,3	30	1,07	2,19	36,7
5. Фон + (Mg + Zn)	2024 г.	4,9	32	1,27	2,56	35,8
	2025 г.	6,2	30	0,84	1,17	31,0
	среднее	5,5	31	1,05	1,86	33,4
6. Фон + Ризобакт	2024 г.	5,5	45	1,47	3,42	37,5
	2025 г.	6,1	28	0,71	1,05	34,6
	среднее	5,8	36	1,09	2,23	36,0

на 15 %, массы зерна с колоса на 9 %, массы зерна с растения на 18 %, а также массы 1 000 зерен на 13 %.

Все изучаемые препараты оказали положительное влияние на элементы структуры урожая полбы. Внесение препарата Гумат 7+ по фону ($N_{90}P_{50}K_{90}$) в среднем за годы исследований увеличило длину колоса на 0,2 см, количество зерен на 10 %, массу зерен с колоса на 11 %, массу зерна с растения на 23 %, массу 1 000 зерен на 5 %. При применении препарата Ризобакт произошло количественное увеличение всех показателей структуры урожая.

Применение препарата Стада N увеличило массу зерна с колоса и с растения, массу 1 000 зерен, а внесение препарата ($Mg + Zn$) – количество и массу зерен с колоса относительно фона ($N_{90}P_{50}K_{90}$).

На урожайность зерна полбы заметное влияние оказали погодные условия. Урожайность зерна в 2024 г. составила от 1,61 т/га на контроле до 2,04 т/га в варианте с применением Гумат 7+ (табл. 3). Внесение минеральных удобрений увеличило урожайность на 0,24 т/га или на 15 %. По всем вариантам опыта прибавка урожая зерна была существенна относительно контроля. Изучение препаратов на фоне минеральных удобрений ($N_{90}P_{50}K_{90}$) показало, что при применении Гумат 7+ прибавка урожая зерна была существенна относительно фона ($N_{90}P_{50}K_{90}$) и составила 0,19 т/га или 10 %. При этом внесение Стада N увеличило урожайность зерна

полбы на 0,14 т/га или на 7 %. При применении препаратов Ризобакт и ($Mg + Zn$) наблюдали увеличение урожайности зерна полбы, но в пределах ошибки опыта.

Урожайность зерна полбы в 2025 г. варьировала от 1,40 до 1,85 т/га соответственно на контроле и в варианте с применением препарата Гумат 7+. Внесение минеральных удобрений увеличило урожайность на 0,22 т/га или на 16 %. По всем вариантам опыта прибавка урожая зерна была существенна относительно контроля.

Изучение препаратов, на фоне минеральных удобрений ($N_{90}P_{50}K_{90}$) показало, что при применении Гумат 7+ прибавка урожая зерна была существенна относительно фона ($N_{90}P_{50}K_{90}$), составив 0,23 т/га или 14 %. В то же время внесение Стады N увеличило урожайность зерна полбы на 0,16 т/га или на 10 %. При применении препаратов Ризобакт и ($Mg + Zn$) наблюдали увеличение урожайности зерна полбы, но в пределах ошибки опыта.

Заключение. Проведенные исследования в 2024 г. при достатке тепла и влаги и в 2025 г. при прохладном лете с избытком осадков в первой половине вегетационного периода позволили определить влияние изучаемых препаратов на урожайность полбы при различных погодных условиях.

Оптимизация минерального питания под планируемый урожай повышает урожайность полбы в среднем на 15 %. В тоже время применение изучаемых препаратов по фону минерального питания ($N_{90}P_{50}K_{90}$)

Таблица 3 – Урожайность зерна пшеницы полбы

Table 3 – Yield of spelt wheat grain

Варианты опыта	2024 г.	2025 г.	Среднее 2024–2025 гг.	В т/га (in t/ha)	
				т/га	%
1. Контроль	1,61	1,40	1,50	–	–
2. Фон ($N_{90}P_{50}K_{90}$)	1,85	1,62	1,73	0,23	15
3. Фон + Гумат 7+	2,04	1,85	1,94	0,44	29
4. Фон + Стада N	1,99	1,78	1,88	0,38	25
5. Фон + ($Mg + Zn$)	1,89	1,67	1,78	0,28	19
6. Фон + Ризобакт	1,93	1,68	1,80	0,30	20
HCP ₀₅ по фактору А	0,15	0,08	–	–	–
HCP ₀₅ по фактору Б	0,10	0,09	–	–	–

улучшает количественные показатели элементов структуры урожая полбы: увеличивает количество зерен в колосе, массу зерна с растения, массу 1 000 зерен.

Наилучшие показатели по урожайности зерна были получены при внесении препаратов Гумат 7+ и Страна N по фону минерального питания ($N_{90}P_{50}K_{90}$) в фазу

«полное кущение – начало выхода в трубку», составив в среднем за два года исследований 1,94 и 1,88 т/га.

Полученные данные доказывают перспективность применения препаратов Гумат 7+ и Страна N совместно с основными минеральными удобрениями на сорте полбы Псковитянка.

Список источников

1. Темирбекова С. К., Бегеулов М. Ш., Афанасьева Ю. В., Куликов И. М., Ионова Н. Э. Адаптивный потенциал полбы голозерной в условиях второго, третьего и седьмого регионов Российской Федерации // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 34–38. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/34-38. EDN KEYBOI.
2. Щелканов Д. А., Клепикова А. С. Оценка коллекции полбы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России (*Triticum dicoccum*) // Вавиловские чтения – 2022 : материалы междунар. науч.-практ. конф. Саратов : Амирит, 2022. С. 236–242. EDN KECOUO.
3. Темирбекова С. К., Бегеулов М. Ш., Афанасьева Ю. В., Меркуров Н. В., Сардарова И. И., Ребух Н. Я. Использование адаптивного потенциала растений в создании сортов из древних видов пшениц // Хлебопродукты. 2022. № 9. С. 43–48. doi: 10.32462/0235-2508-2022-31-9-43-48. EDN LFARTX.
4. Кобылянский В. Д., Сурик Н. А., Попова Н. М. Агробиологическая оценка образцов голозерной полбы в условиях Красноярской лесостепи // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–3. С. 601–605.
5. Тугарева Ф. В., Сидоренко В. С., Старицова Ж. В., Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г., Шаболкина Е. Н. Новый сорт твердой яровой пшеницы Фея – межвидовой гибрид *Triticum durum* × *Triticum dicoccum* // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 3 (47). С. 68–76. doi: 10.24412/2309-348X-2023-3-68-76.
6. Тюнин В. А., Шрейдер Е. Р., Бондаренко Н. П., Гунько Г. В., Совков Н. Н. Ценная зерновая культура полба // АПК России. 2017. Т. 24. № 3. С. 649–654. EDN ZXNBSJ.
7. Xie Quan, Mayes Sean, Sparkes D. L. Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat // Crop Science. 2015. Vol. 55. No. 6. P. 2753–2765. doi: 10.2135/cropsci2014.12.0842.
8. Sugár Eszter, Fodor Nándor, Sándor Renáta, Bónis Péter, Vida Gyula, Árendás Tamás. Spelt wheat: An alternative for sustainable plant production at low n-levels // Sustainability. 2019. No. 11 (23). P. 6726. doi: 10.3390/su11236726.
9. Мамедов К. С., Мамсиров Н. И., Назранов Х. М., Гадиева А. А., Перфильева Н. И. Совершенствование технологии возделывания полбы в условиях центральной части Северного Кавказа // Новые технологии. 2023. Т. 19. № 2. С. 110–119. doi: 10.47370/2072-0920-2023-19-2-110-119. EDN ZGBDRL.
10. Семенов П. Г., Амиров М. Ф., Сержанов И. М., Шайхутдинов Ф. Ш., Гараев Р. И. Сравнительная продуктивность различных видов яровой пшеницы на серой лесной почве Республики Татарстан // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2. С. 12–20. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20. EDN KCMGSK.
11. Сычев В. Г., Ханиева И. М., Бозиев А. Л., Мамедов К. С. Современные органоминеральные удобрения в технологии возделывания полбы // Плодородие. 2024. № 4. С. 14–18. doi: 10.25680/S19948603.2024.139.03.
12. Васин В. Г., Бурунов А. Н., Стрижаков А. О., Васин С. А. Применение стимулирующих препаратов Мегамикс на посевах яровой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 1 (37). С. 90–98. doi: 10.24412/2309-348X-2021-1-90-98. EDN YMJBWC.

13. Лазарев В. И., Шершнева О. М., Жемякин С. В. Оценка влияния микробиологического удобрения Ризобакт на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа оптимизации агроландшафтов : материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Курск : Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, 2016. С. 166–169. EDN WLIHLP.
14. Алмосов В. В., Лазарев В. И., Левшаков Л. В. Применение традиционных и перспективных биопрепараторов на яровой пшенице применительно к условиям Курской области // Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Курск : Курский государственный аграрный университет, 2024. С. 158–164. EDN HCUEUY.
15. Денисов К. Е., Полетаев И. С., Гераскина А. А., Тонкошкур В. А., Кондаков К. С., Соловьева Е. Б. Влияние минеральных и микробиологических удобрений на биологическую активность каштановой почвы и продуктивность яровой пшеницы в условиях сухостепного Зауралья // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 27–30. doi: 10.28983/asj/y2022i12pp27-30. EDN BFHFAD.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. М. : Альянс, 2011. 351 с. EDN QLCQEP.

References

1. Temirbekova S. K., Begeulov M. Sh., Afanasyeva Yu. V., Kulikov I. M., Ionova N. E. Adaptive potential of spelt in the conditions of the second, third and seventh regions of the Russian Federation. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2020;1:34–38. doi: 10.30850/vrsn/2020/1/34-38. EDN KEYBOI (in Russ.).
2. Shchelkanov D. A., Klepikova A. S. Evaluation of the spelt collection in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia (*Triticum dicoccum*). Proceedings from Vavilov Readings – 2022: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 236–242), Saratov, Amirit, 2022. EDN KECOUO (in Russ.).
3. Temirbekova S. K., Begeulov M. Sh., Afanasyeva Yu. V., Merkuryev N. V., Sardarova I. I., Rebukh N. Ya. Using the adaptive potential of plants in the creation of varieties from ancient wheat species. *Khleboprodukty*, 2022;9:43–48. doi: 10.32462/0235-2508-2022-31-9-43-48. EDN LFARTX (in Russ.).
4. Kobilyanskiy V. D., Surin N. A., Popova N. M. Agrobiological assessment of spelt samples in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013; 10–3:601–605 (in Russ.).
5. Tugareva F. V., Sidorenko V. S., Starikova Zh. V, Malchikov P. N., Myasnikova M. G., Shabolkina E. N. A new variety of durum spring wheat Feya is an interspecific hybrid of *Triticum durum* × *Triticum dicoccum*. *Zernobobovye i krupyanaye kul'tury*, 2023;3(47):68–76. doi: 10.24412/2309-348X-2023-3-68-76 (in Russ.).
6. Tyunin V. A., Shreyder E. R., Bondarenko N. P., Gunko G. V., Sovkov N. N. Valuable grain crop spelt. *APK Rossii*, 2017;24;3:649–654. EDN ZXNBSJ (in Russ.).
7. Xie Quan, Mayes Sean, Sparkes D. L. Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat. *Crop Science*, 2015;55;6:2753–2765. doi: 10.2135/cropsci2014.12.0842.
8. Sugár Eszter, Fodor Nándor, Sándor Renáta, Bónis Péter, Vida Gyula, Árendás Tamás. Spelt wheat: An alternative for sustainable plant production at low n-levels. *Sustainability*, 2019; 11(23):6726. doi: 10.3390/su11236726.
9. Mamedov K. S., Mamsirov N. I., Nazranov Kh. M., Gadiyeva A. A., Perfilyeva N. I. Improving the technology of spelt cultivation in the conditions of the central part of the North Caucasus. *Novye tekhnologii*, 2023;19;2:110–119. doi: 10.47370/2072-0920-2023-19-2-110-119. EDN ZGBDRL (in Russ.).
10. Semenov P. G., Amirov M. F., Serzhanov I. M., Shaykhutdinov F. Sh., Garaev R. I. Comparative productivity of various types of spring wheat on the gray forest soil of the Republic

of Tatarstan. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2024;2:12–20. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-12-20. EDN KCMGSK (in Russ.).

11. Sychev V. G., Khanieva I. M., Boziev A. L., Mamedov K. S. Modern organomineral fertilizers in the technology of spelt cultivation. *Plodorodie*, 2024;4:14–18. doi: 10.25680/S19948603.2024.139.03 (in Russ.).

12. Vasin V. G., Burunov A. N., Strizhakov A. O., Vasin S. A. Application of Megamix stimulating preparations on spring wheat crops in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Zernobobovye i krupyanье kul'tury*, 2021;1(37):90–98. doi: 10.24412/2309-348X-2021-1-90-98. EDN YMJBWC (in Russ.).

13. Lazarev V. I., Shershneva O. M., Zhemyakin S. V. Assessment of the influence of Rizobakt microbiological fertilizer on the yield and quality of spring wheat grain. Proceedings from Adaptive landscape farming systems are the basis for optimizing agricultural landscapes: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem*. (PP. 166–169), Kursk, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut zemledeliya i zashchity pochv ot erozii, 2016. EDN WLIHLP (in Russ.).

14. Almosov V. V., Lazarev V. I., Levshakov L. V. Application of traditional and promising biopreparations on spring wheat in relation to the conditions of the Kursk region. Proceedings from Youth science – development of the agro-industrial complex: *IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 158–164), Kursk, Kurskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2024. EDN HCUEUY (in Russ.).

15. Denisov K. E., Poletaev I. S., Geraskina A. A., Tonkoshkur V. A., Kondakov K. S., Solovyova E. B. Influence of mineral and microbiological fertilizers on the biological activity of chestnut soil and the productivity of spring wheat in the dry-steppe Trans-Volga region. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2022;12:27–30. doi: 10.28983/asj/y2022i12pp27-30. EDN BFHFAD (in Russ.).

16. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook*, Moscow, Al'yans, 2011, 351 p. EDN QLCQEP (in Russ.).

© Мазин А. М., 2025

Статья поступила в редакцию 18.11.2025; одобрена после рецензирования 10.12.2025; принята к публикации 12.12.2025.

The article was submitted 18.11.2025; approved after reviewing 10.12.2025; accepted for publication 12.12.2025.

Информация об авторе

Мазин Алексей Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Псковский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Федеральный научный центр лубяных культур, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1825-0097>, a.mazin.psk@fnclk.ru

Information about the author

Aleksei M. Mazin, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Pskov Scientific Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Crops, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1825-0097>, a.mazin.psk@fnclk.ru

Научная статья

УДК 528.854(571.61)

EDN KAMRХО

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-46-57>

Идентификация залежных земель на севере Зейско-Буреинской равнины (Амурская область) с использованием спутниковых данных

Юлия Анатольевна Масютина

Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН

Амурская область, Благовещенск, Россия, ellada308@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено проблеме идентификации залежных земель на севере Зейско-Буреинской равнины (Октябрьский район Амурской области) с применением спутниковых снимков Landsat и алгоритма машинного обучения Random Forest. Предложено использование мультивременных композитных изображений, формируемых на основе усреднения малооблачных сцен за май – сентябрь 1984–1991 гг. и 2019–2024 гг. с целью снижения влияния теней и облачности, кратковременных нарушений и сезонных аномалий. Через анализ сезонной динамики вегетационных и водных индексов (SAVI и MNDWI), компонентов преобразования Tasseled Cap и показателей дифференцированного индекса Δ SAVI на разных типах ландшафтов (залежные земли, пашня, лес и переувлажненные территории) в статье обосновывается используемый для классификации комбинированный мультиsezонный и мультииндексный подход. Проведено сравнение эффективности использования в классификации индекса MNDWI и компоненты TCW. Установлено, что замена MNDWI на TCW повышает точность выделения класса «залежь» с 76,1 до 81,3 % (Producer's Accuracy). Доказано превосходство TCW за счет большей чувствительности к влажности растительного покрова, а не только к открытым водным поверхностям. Достигнута общая точность классификации 94,8 %, коэффициент Каппа – 0,93. По результатам классификации были рассчитаны площади залежных земель, составившие примерно 32 тыс. га (18 % от общей площади земель сельскохозяйственного назначения). Проведен анализ распределения залежей по типам почв. Выявлено, что на малопродуктивных почвах сосредоточено 57,3 % всех залежей, что подтвердило преимущественное выбытие из оборота наименее пригодных земель. Полученные результаты обеспечивают переход от оценочных данных к точному пространственному учету залежей.

Ключевые слова: залежи, дистанционное зондирование, классификация, Random Forest, вегетационный индекс, Tasseled Cap

Для цитирования: Масютина Ю. А. Идентификация залежных земель на севере Зейско-Буреинской равнины (Амурская область) с использованием спутниковых данных // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 46–57. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-46-57>.

Original article

Identification of abandoned agricultural lands in the northern Zeya-Bureya plain (Amur region) using satellite data

Yulia A. Masyutina

Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation, ellada308@mail.ru

Abstract. The study addresses the problem of identifying abandoned agricultural lands in the northern part of the Zeya-Bureya plain (Oktyabrsky district, Amur region) using Landsat satellite imagery and the Random Forest machine learning algorithm. The approach involves the use of

multitemporal composite images generated by averaging cloud-free scenes from May to September for the periods 1984–1991 and 2019–2024, in order to reduce the influence of shadows and cloud cover, short-term disturbances, and seasonal anomalies. Through the analysis of the seasonal dynamics of vegetation and water indices (SAVI and MNDWI), Tasseled Cap transformation components, and differential index values (Δ SAVI) across various landscape types (abandoned lands, croplands, forests, and waterlogged areas), the study substantiates a combined multiseasonal and multi-index classification approach. The effectiveness of using the MNDWI index and the TCW component in classification was compared. It was found that replacing MNDWI with TCW increased the accuracy of the "abandoned land" class from 76.1% to 81.3% (Producer's Accuracy). The superiority of TCW is demonstrated due to its higher sensitivity to vegetation moisture rather than solely to open water surfaces. The overall classification accuracy reached 94.8%, with a Kappa coefficient of 0.93. Based on the classification results, the total area of abandoned lands was estimated at approximately 32,000 ha (18% of the total agricultural land area). The distribution of abandoned lands by soil type was analyzed; revealing that 57.3% of all abandoned lands are concentrated on low-productive soils, confirming that the least suitable lands were predominantly taken out of cultivation. The obtained results provide a transition from approximate estimates to precise spatial accounting of abandoned lands.

Keywords: abandoned lands, remote sensing, classification, Random Forest, vegetation index, Tasseled Cap

For citation: Masyutina Yu. A. Identification of abandoned agricultural lands in the northern Zeya-Bureya plain (Amur region) using satellite data. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:46–57. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-4-46-57>.

Введение. Залежные (заброшенные) земли – пахотные земли, длительное время выведенные из сельскохозяйственного оборота, на которых наблюдается естественное восстановление растительности. Забрасывание земель сельскохозяйственного назначения происходит в результате различных причин, в числе которых переход к интенсивным видам земледелия, а также политические и социально-экономические кризисы. Так, в России массовое появление залежей было связано с масштабными социально-экономическими изменениями в 1990-х гг., которые привели к трансформации агропромышленного комплекса и выводу из сельскохозяйственного оборота земель, на которых возделывание культур оказалось убыточным [1, 2]. При этом влияние залежных земель на экономику и экологию может рассматриваться как в негативном, так и в позитивном аспектах.

С одной стороны, выбывание земель из сельскохозяйственного оборота может отрицательно сказываться на продовольственной безопасности, а в аграрных регионах эти процессы приводят к уменьшению количества рабочих мест, и, как следствие, к сокращению сельского населения. Еще одним негативным фактором является то, что залежные земли могут

становиться очагами распространения животных-вредителей, опасных сорных растений и болезней, формируя неблагоприятную фитосанитарную обстановку [3]. С другой стороны, выведение земель из оборота может иметь положительные экологические перспективы – восстановление экосистем, повышение биоразнообразия.

Согласно многочисленным исследованиям, восстановление растительности усиливает секвестрацию углерода. Лесовозобновление на залежах в 5 раз увеличивает подземную секвестрацию углерода в первые 20 лет после вывода и также увеличивает наземную секвестрацию через 5–10 лет после вывода [4–6]. Стоит отметить, что исследования углеродного цикла на залежных землях в последнее время становятся все более актуальными в связи с возрастающим интересом к вопросам глобального изменения климата.

Неоднозначность экологической и экономической оценки последствий вывода земель из сельскохозяйственного оборота обуславливает необходимость их изучения для определения перспектив по их использованию. Однако в настоящее время ключевой проблемой остается отсутствие объективных данных о площадях, местоположении и границах залежей из-за отсутствия их системного государ-

ственного учета [2]. Это, в свою очередь, ограничивает исследования динамики сукцессии и разработку стратегий использования. Особенно слабо изучены, в сравнении с европейской частью России, залежи на Дальнем Востоке страны [2].

В Амурской области, являющейся ведущим сельскохозяйственным регионом Дальнего Востока, залежи по приблизительным оценкам занимают около 200 тыс. га [7]. Точное картирование их пространственного распределения станет основой для более глубоких фундаментальных и прикладных исследований. Всестороннее изучение залежных земель в конечном счете будет способствовать разработке региональной стратегии по их рациональному использованию, что благоприятно скажется на развитии экономического и социального потенциала области.

В настоящее время эффективное распознавание залежных земель неотъемлемо связано с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Классификация осуществляется на основе спектральных каналов, вегетационных и влажностных индексов и других характеристик, основанных на спектральном отклике объектов земной поверхности. При этом залежные земли обладают рядом специфических характеристик, которые делают их весьма сложным объектом для автоматизированного картографирования. Среди таких особенностей: разный возраст выхода из сельскохозяйственного оборота (наиболее масштабное забрасывание земель происходило в 1990-е гг., но и в XXI в. эти процессы продолжились, хотя и не так интенсивно); различные механизмы восстановления естественных ландшафтов (зарастание травянистой, кустарниковой или древесной растительностью); разные почвенно-гидрологические условия; значительное спектральное сходство с другими типами объектов (старые залежи, зарастающие древесной растительностью, будут иметь высокое сходство с лесными массивами; молодые залежи, зарастающие травянистой и кустарниковой растительностью – с лугами).

В этой связи одним из необходимых условий для успешной классификации является правильный выбор спектральных признаков, включая мультиsezонные

данные вегетационных и влажностных индексов и дифференцированные индексы, выявляющие динамику растительного покрова, что является важнейшей составляющей в идентификации залежей.

Цель работы – впервые провести идентификацию залежных земель на севере Зейско-Буреинской равнины (административно в Октябрьском районе Амурской области), где, по предварительным оценкам, сосредоточены значительные площади этих угодий, с использованием мультиsezонных спутниковых данных и методов машинного обучения.

Материалы и методы исследований. Территория исследований. Согласно данным Министерства сельского хозяйства Амурской области, в 2025 г. на территории области расположено 2,4 млн. га сельскохозяйственных угодий, из которых 1,5 приходится на пашню; 0,3 – на сенокосы и 0,3 – на пастбища. По приблизительным оценкам, 0,2 млн. га относится к залежным землям.

Основные сельскохозяйственные ресурсы региона сосредоточены в пределах Зейско-Буреинской равнины, где лесные ландшафты сменяются лесостепными. Зейско-Буреинская равнина характеризуется резко-континентальным климатом с чертами муссонности, значительными годовыми колебаниями температур, холодными малоснежными зимами и преобладанием осадков в летний период. Средняя многолетняя температура июля составляет 18–21 °C, января – от минус 28 до минус 24 °C. Годовое количество осадков 400–500 мм. Растительные, почвенно-гидрологические и геоморфологические условия различаются в пределах равнины.

В более приподнятой северо-восточной части (средние высоты 200–370 м над уровнем моря), ограниченной предгорьями хр. Турана, преобладают лесные ландшафты (преимущественно лиственничники) в сочетании с травяно-болотными редколесьями на бурых лесных (в том числе глееватых), лугово-болотных и торфяных болотных почвах. В юго-восточной пониженной (100–200 м над уровнем моря) части равнины расположены участки широколиственных лесов, состоящие в основном из дуба монгольского и березы плосколистной, которые сменяются обширными участками высокотравных лу-

говых степей (так называемых «амурских прерий»), преобладающий тип почв которых – лугово-черноземовидные, а также пойменные луговые.

Таким образом, объект исследований – Октябрьский район, расположенный в северной части равнины, в меньшей степени подходит для сельского хозяйства. Однако в советское время распашке подвергались и эти земли. Впоследствии, именно они во время кризиса 1990-х гг. в первую очередь выводились из оборота, что предопределило формирование здесь обширных залежных массивов.

Алгоритм классификации залежных земель. Формирование обучающей и тестовой выборки. Создание обучающих и тестовых полигонов проводилось с помощью визуальной верификации изображений высокого разрешения, доступных на открытых сервисах (Google Earth, Yandex. Maps). Для подтверждения статуса залежей как бывших пахотных земель использовались данные спутника Landsat 5 TM за период с 1984 г. (начало работы спутника) по 1991 г. Выбор именно такого временного диапазона обусловлен активным землепользованием в советский период и массовым забрасыванием земель после 1991 г. Несмотря на возможность бинарной классификации (залежь/не залежь), для повышения интерпретируемости и учета региональных ландшафтных особенностей было выделено четыре класса:

- 1) залежь – собственно залежные земли; бывшая пашня с естественным зарастанием травами, кустарниками или древесной растительностью;
- 2) пашня, включающая активно используемые поля;
- 3) лес;
- 4) болото (название условно) – включает переувлажненные участки (поймы, в том числе заливные луга, болота, заболоченные редколесья).

Подбор и обработка спутниковых данных. Для целей классификации использовались мультиспектральные данные Landsat с пространственным разрешением 30 м/пиксель. Мультиспектральная съемка и длительный период работы спутников делают Landsat уникальным ресурсом, хорошо подходящим для целей исследований. Однако низкая периодичность съем-

ки (около 16 дней) и значительная доля облачных снимков осложняют подбор достаточного количества изображений для качественной классификации.

Комплексным решением этих проблем является создание мультивременных (по месяцам) композитов с усреднением всех доступных малооблачных изображений. На платформе Google Earth Engine были сформированы десять композитных изображений: пять исторических (для расчета дифференцированных индексов) за май, июнь, июль, август, сентябрь 1984–1991 гг. и пять современных (аналогичные месяцы 2019–2024 гг.) [8]. Для создания композитов использовались малооблачные (менее 20 % облачности) снимки; облака и тени были замаскированы с помощью готовых битовых масок. Использование композитов позволило избежать ложного определения в залежь паровых полей, а также исключить артефакты, резко изменяющие спектральные характеристики – нелесные пожары, наводнения, засухи. Таким образом, были получены стабильные среднемноголетние значения за сезон.

По каждому композиту рассчитаны индексы:

1. *SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)* – вегетационный индекс. Подобно широко известному NDVI, он прямо коррелирует с количеством и состоянием надземной фитомассы, но при этом, в отличие от NDVI, уменьшает влияние почвенного шума, что крайне актуально для исследований на агроландшафтах. SAVI рассчитывался по формуле (1):

$$SAVI = \frac{NIR - Red}{(NIR + Red + L)} \cdot (1 + L) \quad (1)$$

где *NIR* – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне;

Red – отражение в красном диапазоне;
L – поправочный коэффициент яркости почвы (равен 0,5).

2. *MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)* – модифицированный водный индекс. Данный индекс хорошо выделяет водные и переувлажненные поверхности, что необходимо для классификации ландшафтов с обилием заболоченных участков:

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1} \quad (2)$$

где *Green* – отражение в зеленом диапазоне;
SWIR1 – отражение в коротковолновом инфракрасном диапазоне.

Для усиления разделимости классов использованы компоненты преобразования Tasseled Cap (TC), разработанного для интерпретации данных Landsat [9]. Преобразование выделяет три компонента, соответствующих основным свойствам поверхности: яркость почвы – Brightness (далее TCB), «зелёность» – Greenness и влажность – Wetness (далее TCW). Их использование считается принятой практикой при работе с данными ДЗЗ, которая позволяет значительно повысить точность классификации [10, 11]. В данном исследовании были задействованы TCB и TCW; компонент Greenness в ходе анализа показал практически идентичные траектории с SAVI, поэтому он не использовался в классификации.

Кроме того, на основе исторических (1984–1991 гг.) и современных (2019–2024 гг.) данных рассчитан разностный индекс SAVI (Δ SAVI), являющийся важнейшим маркером динамики зарастания. Положительные значения данного индекса свидетельствуют о снижении фитомассы, что может быть связано с различными длительными нарушениями растительного покрова (в случае с сельскохозяйственными землями со сменой посевных культур). Значения Δ SAVI, близкие к нулевому уровню, свидетельствуют о неизменном состоянии растительного покрова, что характеризует либо естественные ландшафты, либо постоянно обрабатываемые земли. Отрицательные значения индекса указывают на рост фитомассы, что связано со сменой сукцессии (например, в случае забрасывания пашни такие значения будут свидетельствовать о возможном месторасположении залежных земель).

Выбор оптимального набора данных и классификация. Выбор наиболее информативных каналов для классификации проводился путем анализа сезонной динамики и выявления различий в траекториях индексов, «сырых» каналов и компонентов Tasseled Cap. В результате были отобраны наиболее информативные

признаки, отражающие разницу между залежными землями и остальными классами в старте и окончании вегетации, показателях пиковой биомассы, в динамике зарастания и в условиях влажности.

Классификация проводилась с помощью ансамблевого алгоритма Random Forest на основе 200 деревьев решений, без ограничения глубины дерева, со встроенной кросс-валидацией (стратифицированная, 5-фолдовая) и балансировкой классов. Выбор данного алгоритма обусловлен его производительностью и устойчивостью к переобучению и шуму.

Классификация выполнена в программном обеспечении QGIS 3.40 с использованием плагина Semi-Automatic Classification 8.5.0 (SCP) [12].

Оценка точности проводилась по независимой тестовой выборке с использованием матрицы ошибок Overall Accuracy (OA), Кappa, Producer's Accuracy (PA) и User's Accuracy (UA).

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ сезонной динамики спектральных признаков. Анализ сезонных траекторий индексов и компонентов TC позволил выявить наиболее информативные признаки.

Сезонная динамика SAVI эффективно выделяет пашню среди других классов (рис. 1). В отличие от залежей, лесов и заболоченных территорий, демонстрирующих дугообразный ход индекса с максимумом в июле, пашня характеризуется отчетливым максимумом в августе и резким снижением в сентябре. Лесные массивы сохраняют наивысшие значения SAVI во всех месяцах, за исключением августа, когда пашня временно превосходит их по вегетационной активности. В то же время сезонный ход SAVI для залежей и заболоченных территорий практически идентичен как по абсолютным значениям, так и по траектории, что делает невозможным надежное выделение залежей только на основе вегетационных признаков. Соответственно для их дифференциации требуется привлечение влажностных признаков и исторической динамики.

Динамика влажностного индекса MNDVI (рис. 1) позволяет достаточно четко выделить класс переувлажненных территорий, которые имеют отличную

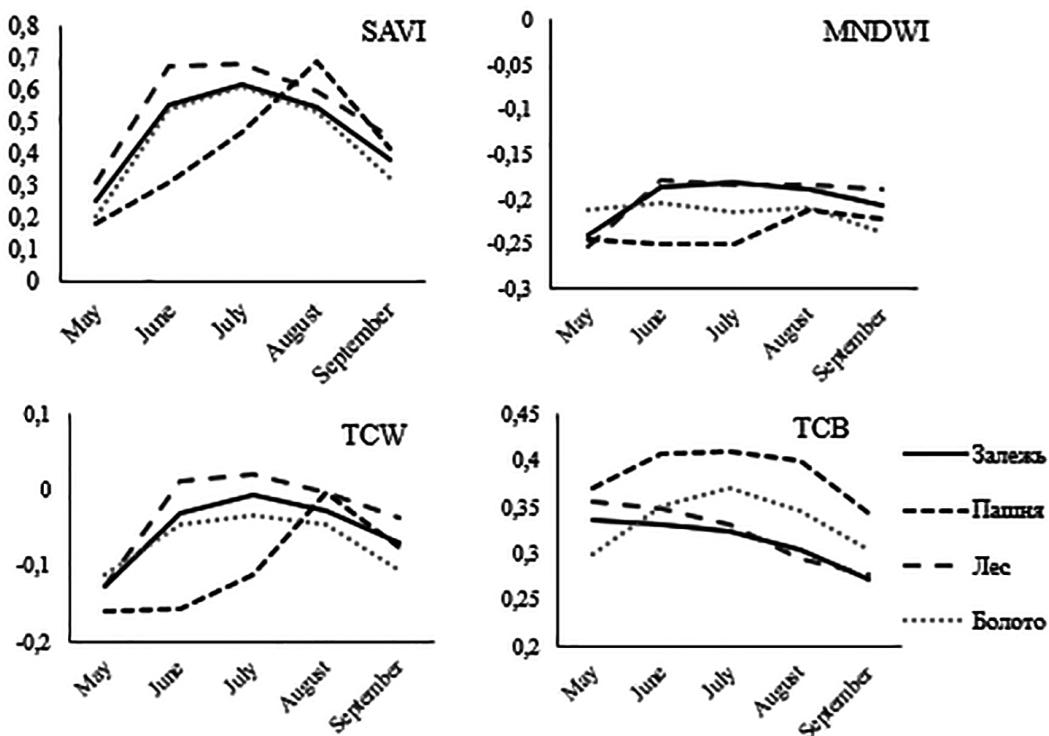


Рисунок 1 – Сезонная динамика спектральных индексов и компонентов преобразования Tasseled Cap

Figure 1 – Seasonal dynamics of spectral indices and Tasseled Cap transformation components

от других классов траекторию: с мая по июнь значения индекса почти не меняются, начиная плавно снижаться с июля по сентябрь. В то же время залежи характеризуются ростом значений с мая по июнь, практически неизменными значениями в июле, августе и снижением в сентябре. Леса имеют высокое сходство с залежными землями, однако в их пределах не происходит снижения индекса в сентябре. Сезонная динамика MNDWI пашни хорошо выделяет ее среди других классов: практически неизменные с мая по июль значения индекса характеризуются резким ростом в августе, немного снижаясь в сентябре. Таким образом, MNDWI эффективно разделяет болота и пашню, но не позволяет надежно дифференцировать лес и залежь без привлечения дополнительных признаков.

Использование TCW (рис. 1) улучшает разделение леса и залежей в июне – сентябре, при этом лесные массивы в этот период имеют стабильно более высокие значения. Сезонный анализ TCB (рис. 1) показал, что наибольшие различия между всеми четырьмя классами достигаются в мае, июне и августе.

Проведенный анализ показывает, что ни один индекс в отдельности не обеспечивает полной разделимости классов, поэтому комбинация мультивременных траекторий является обязательным условием для достижения надежных результатов классификации.

Роль дифференцированного индекса Δ SAVI. Добавление в набор индекса Δ SAVI, рассчитанного из современных снимков (2019–2024 гг.) и композитов, созданных на основе исторических данных (1984–1991 гг.), является важнейшим шагом к успешной классификации, поскольку разностный индекс учитывает долговременную динамику застарения территории, что становится определяющим фактором в выделении залежных земель. При этом, хотя Δ SAVI отражает результат долговременных изменений, его использование в качестве единственного признака не обеспечивает надежное разделение классов, поскольку аналогичные изменения растительности могут возникать и на других участках, например, в результате лесовосстановительных работ или при интенсивном восстановлении

растительного покрова после нарушений (пожаров, вырубок). Именно поэтому для повышения точности классификации необходим комплексный подход, учитывающий не только многолетнюю, но и сезонную динамику различных спектральных характеристик.

В ходе анализа было определено, что залежным землям соответствуют отрицательные значения ($\Delta\text{SAVI} \leq -0,2$), что отражает переход от более низких показателей исторического SAVI в период активного оборота сельскохозяйственных земель (до 1991 г.) к более высоким для современного SAVI, соответствующим естественным ландшафтам (густому травянистому покрову, кустарникам, молодому лесу). В ходе анализа для классификации были выбраны июньские значения SAVI как для современных, так и для исторических данных, по которым был рассчитан ΔSAVI , поскольку именно июньские значения этого индекса давали наибольшие различия для всех выделенных классов.

Наборы признаков и итоговая классификация. Учитывая высокую корреляцию между MNDWI и TCW, было сформировано три набора данных (табл. 1), каждый из которых, помимо прочего, включал либо TCW, либо MNDWI, либо оба признака.

Оценка точности результатов классификации, проведенная по трем наборам данных, показала, что наилучших результатов модель достигает при использовании набора с TCW (набор 1); общая точность (OA) модели в этом случае составила 94,8 %, Карра для всей модели 0,93, а точность идентификации класса залежь (Producer's accuracy) 81,3 %. При классификации с использованием двух других наборов точность выявления зале-

жей снижалась примерно на 5 %. Таким образом, TCW превосходит MNDWI при разделении классов, благодаря большей чувствительности к влажности растительного покрова, а не только к водной поверхности. При этом совместное использование TCW и MNDWI не улучшает, а снижает точность, по всей видимости, вследствие избыточности признаков. Полученные данные подтверждаются работами, сравнивающими эффективность водных индексов с TCW (например, авторы исследования, посвященного выявлению водных объектов в бассейнах рек Мюррей и Дарлинг (юго-восток Австралии), пришли к выводу, что MNDWI хорошо работает на участках открытых водоемов, в то время как TCW лучше всего подходит для водно-болотных угодий [13]).

Полученные оценки точности доказывают эффективность использования мультииндексного, мультисезонного набора признаков и сопоставимы с результатами классификации сельскохозяйственных земель (включая залежи) с помощью временных рядов NDVI, проведенной в соседнем регионе (Хабаровском крае) [14, 15].

Хотя классификация по лучшему набору данных (набор 1) продемонстрировала высокую точность модели, важной проблемой остается спектральное пересечение залежей и переувлажненных территорий. Попытки использования «сырых» каналов (SWIR) и дополнительных водных индексов не привели к значимому улучшению результатов. Кроме того, визуальный анализ показал, что в некоторых случаях может происходить недооценка молодых залежей (возрастом моложе десяти лет). Эти ограничения подчеркивают необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на повышение

Таблица 1 – Наборы признаков для классификации

Table 1 – Feature sets for classification

Набор	Ключевые признаки	OA, %	Карра	РА залежей, %	UA залежей, %
1	SAVI, ΔSAVI , TC_Brightness TCW	94,8	0,93	81,3	97,8
2	SAVI, ΔSAVI , TC_Brightness MNDWI	93,0	0,86	76,3	96,6
3	SAVI, ΔSAVI , TC_Brightness TCW + MNDWI	92,3	0,84	75,9	97,4

ние качества модели и разработку новых признаков для точной дифференциации сложных классов.

По результатам выполненной классификации (рис. 2) площадь залежных земель Октябрьского района составила около 32 тыс. га или 18 % земель сельскохозяйственного назначения. Этот показатель в два раза превышает значение, рассчитанное в целом для области (9 %), что подтверждает первоначальное предположение о более масштабном выводе земель из сельскохозяйственного оборота на севере Зейско-Буреинской равнины по сравнению с более южными районами. Наибольшие площади залежей Октябрьского района сосредоточены на востоке, что обусловлено почвенно-гидрологическими условиями. Западная часть района практически полностью занята плодородными лугово-черноземовидными почвами, восток территории характеризуется преимущественным развитием бурых лесных, дерново-подзолистых глеевых и глееватых, а также торфянистых почв, слабо подходящих под задачи земледелия.

Этот вывод дополнительно подтверждается результатом сопоставления полученных данных с почвенной картой, где установлено, что лугово-черноземовидные почвы занимают 54,8 % территории Октябрьского района, при этом на них приходится 42,7 % всех залежей. Напротив, менее плодородные почвы – бурые лесные, дерново-подзолистые глеевые и другие (45,2 % площади) содержат 57,3 % выявленных залежей. Доля заброшенных угодий на плодородных почвах составляет 8,8 %, а на малопродуктивных – 14,2 %.

Заключение. Проведенное исследование продемонстрировало высокую эффективность мультииндексного и мультиsezонного подхода к идентификации залежных земель на севере Зейско-Буреинской равнины (Октябрьский район Амурской области). При этом интегративное использование сезонных траекторий вегетационных индексов и компонентов преобразования Tasseled Cap с дифференцированным индексом SAVI оказалось ключевым фактором, обеспечившим успешную классификацию. Такой подход позволил преодолеть проблему высокого спектрального сходства между залежами и различными типами естественных

ландшафтов. С другой стороны, использование мультивременных композитов с рассчитанными среднемноголетними спектральными показателями по каждому месяцу современного (2019–2024 гг.) и исторического (1984–1991 гг.) периодов помогло исключить ложные срабатывания на паровых полях и кратковременных нарушениях растительного покрова, таких как низовые низкоинтенсивные пожары, засухи, наводнения.

В конечном итоге, модель на основе ансамбля Random Forest достигла точности производителя (РА) 81,3 % при идентификации залежей, что значительно превышает данные точности, полученные в работах с использованием других методик [16, 17]. Например, в работе, посвященной выявлению неиспользуемых земель в Европейской части России, точность (РА, UA) классификации залежей составила примерно 65 % [17].

Залежи, выявленные в результате классификации, занимая 18 % от общей площади сельскохозяйственных угодий Октябрьского района, значительно пре-восходят среднеобластной показатель, что подтвердило гипотезу о первоочередном выводе из сельскохозяйственного оборота низкопродуктивных земель. Полученная карта впервые дала объективную основу для системной инвентаризации и создания регионального кадастра залежных земель, отсутствующих в данный момент.

Несмотря на хорошие результаты классификации имеются значительные перспективы по их совершенствованию. Среди основных направлений дальнейшей работы, в первую очередь, следует отметить возрастную стратификацию залежей на основе выделения стадий сукцессии. Разделение залежей на основе их возраста несет практический смысл, поскольку именно молодые залежи являются более перспективными для возвращения в сельскохозяйственный оборот под интенсивное земледелие.

Таким образом, результаты исследований являются первым этапом на пути к детальному картографированию залежей на территории Амурской области. Это открывает путь к научно-обоснованной региональной стратегии по использованию залежных земель с учетом экологических вопросов и экономических выгод.

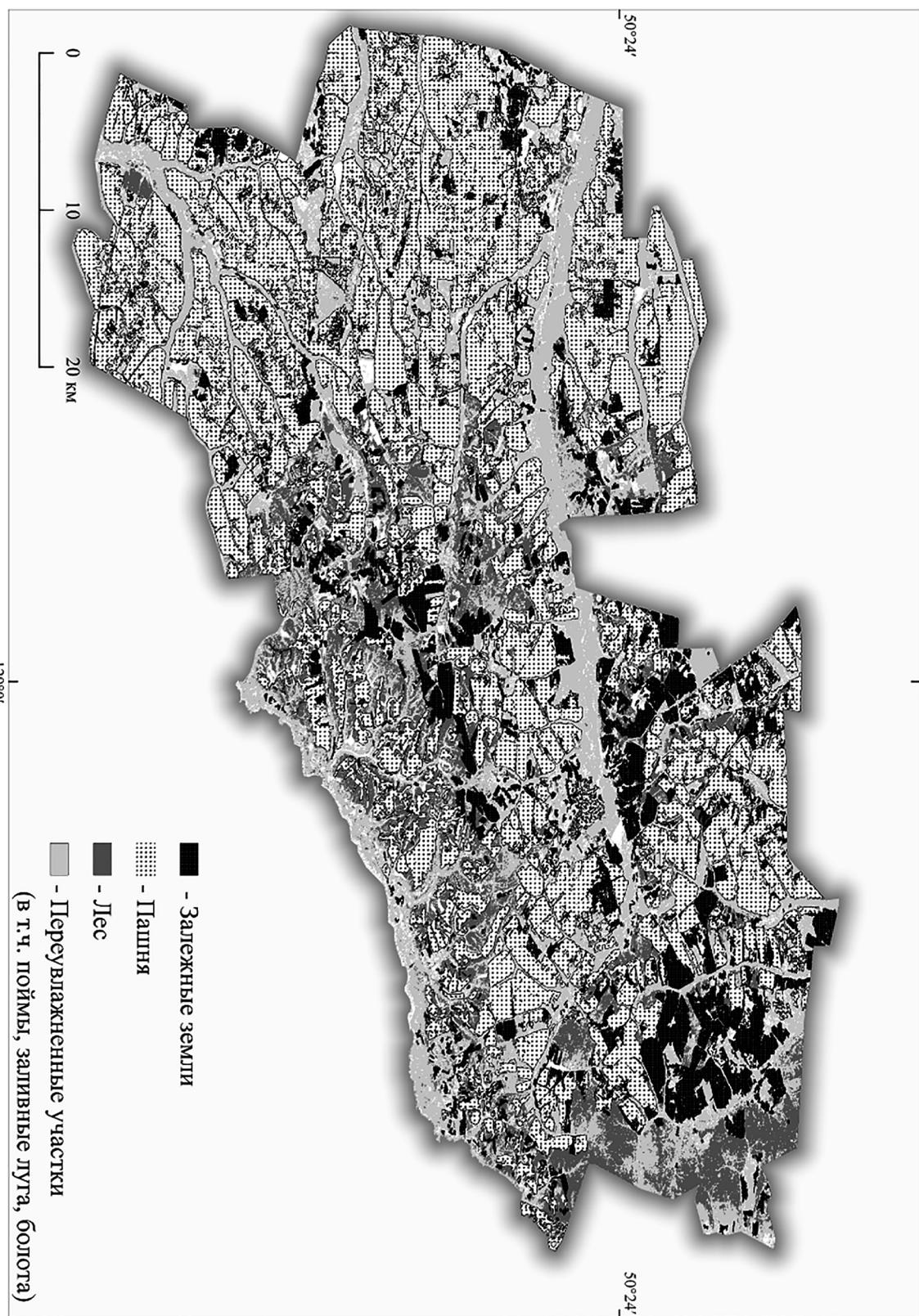


Рисунок 2 – Результаты классификации залежных земель
Figure 2 – Results of abandoned land classification

Список источников

1. Meyfroidt P., Schierhorn F., Prishchepov A. V. Drivers, constraints and trade-offs associated with recultivating abandoned cropland in Russia, Ukraine and Kazakhstan // Global Environmental Change. 2016. Vol. 37. P. 1–15. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.01.003.
2. Нечаева Т. В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Т. 6. № 2. doi: 10.31251/pos.v6i2.215. EDN GAOIEM.
3. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. Г. А. Романенко. М. : Росин-формагротех, 2008. 64 с.
4. Cheng M., Xue Z., Xiang Y. Soil organic carbon sequestration in relation to revegetation on the Loess Plateau, China // Plant Soil. 2015. Vol. 397. P. 31–42. doi: 10.1007/s11104-015-2486-5.
5. Kuemmerle T., Olofsson P., Chaskovskyy O. Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine // Global Change Biology. 2011. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x.
6. Zhou Sh., Shengjie Zh., Tiexi Ch., Ning Z. The impact of cropland abandonment of post-Soviet countries on the terrestrial carbon cycle based on optimizing the cropland distribution map // Biology. 2022. Vol. 11. P. 620. doi: 10.3390/biology11050620.
7. Лаврова Н. А., Кидяева Н. А. Эффективность использования земли в Амурской области // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 4–2. С. 228–233. EDN BPKJQH.
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
9. Huang C., Wylie B., Yang L. Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 At-satellite reflectance // International Journal of Remote Sensing. 2002. Vol. 23. P. 1741–1748. doi: 10.1080/01431160110106113.
10. Şimşek F. F., Durduran S. Land cover classification using Land Parcel Identification System (LPIS) data and open source Eo-Learn library // Geocarto International. 2022. Vol. 38. No. 1. P. 19. doi: 10.1080/10106049.2022.2146760.
11. Zhai Y., Roy D. P., Martins V. S. Conterminous United States Landsat-8 top of atmosphere and surface reflectance tasseled cap transformation coefficients // Remote Sensing of Environment. 2022. Vol. 274. P. 112992. doi: 10.1016/j.rse.2022.112992.
12. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS // Journal of Open Source Software. 2021. No. 6 (64). P. 3172. doi: 10.21105/joss.03172.
13. Ticehurst C., Teng J., Sengupta A. Development of a multi-index method based on Landsat reflectance data to map open water in a complex environment // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 5. P. 1158. doi: 10.3390/rs14051158.
14. Степанов А. С., Дубровин К. Н., Верхотуров А. Л., Асеева Т. А. Особенности проведения классификации сельскохозяйственных земель Хабаровского края с использованием спутниковых данных // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 4. С. 54–62. doi: 10.22450/199996837_2022_4_54. EDN TNLGXV.
15. Illarionova L., Dubrovin K., Fomina E. Multi-sensor NDVI time series for crop and fallow land classification in Khabarovsk krai, Russia // Sensors. 2025. Vol. 25. No. 18. P. 5746. doi: 10.3390/s25185746. EDN AUVZXR.
16. Lesiv M., Shchepaschenko D., Moltchanova E. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries // Scientific Data. 2018. Vol. 5. P. 180056. doi: 10.1038/sdata.2018.56.
17. Yin H., Prishchepov A. V., Kuemmerle T. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series // Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 210. P. 12–24. doi: 10.1016/j.rse.2018.02.050. EDN UYLGCB.

References

1. Meyfroidt P., Schierhorn F., Prishchepov A. V. Drivers, constraints and trade-offs associated with recultivating abandoned cropland in Russia, Ukraine and Kazakhstan. Global Environmental Change, 2016;37:1–15. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.01.003.

2. Nechaeva T. V. Abandoned lands of Russia: distribution, agroecological condition and prospects of use (review). *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*, 2023;6;2. doi: 10.31251/pos.v6i2.215 (in Russ.).
3. Romanenko G. A. (Eds.). *Agroecological condition and prospects for the use of Russian lands that have been eliminated from active agricultural turnover*, Moscow, Rosinformagrotekh, 2008, 64 p. (in Russ.).
4. Cheng M., Xue Z., Xiang Y. Soil organic carbon sequestration in relation to revegetation on the Loess Plateau, China. *Plant Soil*, 2015;397:31–42. doi: 10.1007/s11104-015-2486-5.
5. Kuemmerle T., Olofsson P., Chaskovskyy O. Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x.
6. Zhou Sh., Shengjie Zh., Tiexi Ch., Ning Z. The impact of cropland abandonment of post-Soviet countries on the terrestrial carbon cycle based on optimizing the cropland distribution map. *Biology*, 2022;11:620. doi: 10.3390/biology11050620.
7. Lavrova N. A., Kidyaeva N. A. Land use efficiency in the Amur region. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*, 2019;4–2:228–233. EDN BPKJQH (in Russ.).
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017;202. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
9. Huang C., Wylie B., Yang L. Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 At-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 2002;23:1741–1748. doi: 10.1080/01431160110106113.
10. Şimşek F. F., Durduran S. Land cover classification using Land Parcel Identification System (LPIS) data and open source Eo-Learn library. *Geocarto International*, 2022;38;1:19. doi: 10.1080/10106049.2022.2146760.
11. Zhai Y., Roy D. P., Martins V. S. Conterminous United States Landsat-8 top of atmosphere and surface reflectance tasseled cap transformation coefficients. *Remote Sensing of Environment*, 2022;274:112992. doi: 10.1016/j.rse.2022.112992.
12. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 2021;6(64):3172. doi: 10.21105/joss.03172.
13. Ticehurst C., Teng J., Sengupta A. Development of a multi-index method based on Landsat reflectance data to map open water in a complex environment. *Remote Sensing*, 2022;14; 5:1158. doi: 10.3390/rs14051158.
14. Stepanov A. S., Dubrovin K. N., Verkhoturov A. L., Aseeva T. A. Features of the classification of agricultural lands of the Khabarovsk krai using satellite data. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2022;16;4:54–62. doi: 10.22450/199996837_2022_4_54. EDN TNLGXV (in Russ.).
15. Illarionova L., Dubrovin K., Fomina E. Multi-sensor NDVI time series for crop and fallow land classification in Khabarovsk krai, Russia. *Sensors*, 2025;25;18:5746. doi: 10.3390/s25185746. EDN AUVZXR.
16. Lesiv M., Shchepaschenko D., Moltchanova E. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. *Scientific Data*, 2018;5:180056. doi: 10.1038/sdata.2018.56.
17. Yin H., Prischepov A. V., Kuemmerle T. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 2018; 210:12–24. doi: 10.1016/j.rse.2018.02.050. EDN UYLGCB.

© Масютина Ю. А., 2025

Статья поступила в редакцию 13.11.2025; одобрена после рецензирования 03.12.2025; принята к публикации 05.12.2025.

The article was submitted 13.11.2025; approved after reviewing 03.12.2025; accepted for publication 05.12.2025.

Информация об авторе

Масютина Юлия Анатольевна, кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-4116>, AuthorID: 1179571, ellada308@mail.ru

Information about the author

Yulia A. Masyutina, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-4116>, AuthorID: 1179571, ellada308@mail.ru

Научная статья

УДК 633.853.52:631.847.211

EDN KTBNFS

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-58-67>

Влияние штаммов ризобий на продуктивность сои сорта Алпетра

Ольга Михайловна Рафальская¹, Сергей Васильевич Рафальский²,
Наталья Батрбековна Рафальская³

^{1, 2, 3} Всероссийский научно-исследовательский институт сои

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ rom@vniisoi.ru, ² rsv@vniisoi.ru, ³ rnb0676@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния различных штаммов *Bradyrhizobium elkanii* на рост и развитие сои сорта Алпетра в условиях луговой черноземовидной почвы Амурской области. Установлено, что применение штаммов способствует значительному увеличению надземной массы растений, развитию корневой системы и образованию клубеньков. В ходе эксперимента оценивались густота стояния растений, их сохранность к уборке. Доказано, что применение некоторых штаммов *Bradyrhizobium elkanii* способствовало повышению сохранности растений к уборке, не оказывая при этом существенного влияния на сроки наступления фенологических фаз и продолжительность межфазных периодов. Выявлены наиболее эффективные штаммы, обеспечивающие максимальную продуктивность растений. Варианты с инокуляцией семян штаммами Ву-6, Ву-9, Ву-1 и Мд-0 показали наибольшую эффективность. Проведен корреляционный анализ взаимосвязи биоморфологических параметров. Полученные результаты подтверждают перспективность использования штаммов *Bradyrhizobium elkanii* для повышения урожайности сои.

Ключевые слова: соя, ризобии, инокуляция, сохранность, урожайность

Для цитирования: Рафальская О. М., Рафальский С. В., Рафальская Н. Б. Влияние штаммов ризобий на продуктивность сои сорта Алпетра // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 58–67. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-58-67>.

Original article

Influence of rhizobia strains on Alpetra soybean variety productivity

Olga M. Rafalskaya¹, Sergey V. Rafalskiy², Natalya B. Rafalskaya³

^{1, 2, 3} All-Russian Scientific Research Institute of Soybean
Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ rom@vniisoi.ru, ² rsv@vniisoi.ru, ³ rnb0676@mail.ru

Abstract. The authors present the results of studies on the effect of various *Bradyrhizobium elkanii* strains on the growth and development of Alpera soybeans. The research was carried out in the conditions of the meadow chernozem soil of the Amur region. It is proved that the use of strains contributes to a significant increase in the aboveground mass of plants, the development of the root system and the formation of nodules. Studies have shown that the use of certain strains of *Bradyrhizobium elkanii* has improved the safety of plants for harvesting, without significantly affecting the timing of the onset of phenological phases and the duration of interphase periods. The variants involving inoculation with such strains as Vu-6, Vu-9, Vu-1, and Md-0 showed the highest efficiency. The authors also made a correlation analysis of the relationship between biomorphological parameters. The obtained results confirm prospects for using the *Bradyrhizobium elkanii* strains to increase soybean yields.

Keywords: soybean, rhizobia, inoculation, survival, yield

For citation: Rafalskaya O. M., Rafalskiy S. V., Rafalskaya N. B. Influence of rhizobia strains on Alpetra soybean variety productivity. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:58–67. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-58-67>.

Введение. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является одной из зернобобовых культур, играющих ключевую роль в обеспечении человека белковой и масличной продукцией. Для повышения урожайности сои важным направлением является использование инокулянтов на основе эффективных штаммов клубеньковых бактерий рода *Bradyrhizobium*. Соответствующие микроорганизмы формируют симбиотическую связь с растениями, способствуя фиксации атмосферного азота и улучшению питания растений.

Современное сельское хозяйство остро нуждается в экологически безопасных и экономически эффективных методах повышения результивности растениеводства за счет увеличения урожайности возделываемых культур. При этом перспективным направлением является использование почвенных микроорганизмов, в частности на сое клубеньковых бактерий культуры (ризобий), способных не только усваивать атмосферный азот, но и стимулировать рост, развитие и продуктивность растений [1, 2].

Дальневосточный регион характеризуется уникальным биоразнообразием природных популяций соевых ризобий, что делает его важным источником для поиска новых высокоэффективных штаммов клубеньковых бактерий [3, 4]. Ризобии сои – это специализированные азотофикссирующие бактерии, которые вступают в симбиотические отношения с корнями растений сои. Они играют ключевую роль в улучшении роста, развития, повышения продуктивности и устойчивости сои к неблагоприятным условиям окружающей среды и болезням [5].

Ризобии образуют клубеньки на корнях сои, где происходит процесс биологической фиксации атмосферного азота. Этот процесс обеспечивает растение доступным азотом, который является важнейшим элементом для роста и развития. Азот используется для синтеза белков, нуклеиновых кислот и других жизненно важных соединений. Симбиотическая фиксация азота позволяет снизить потребность в минеральных азотных удобрениях, что снижает затраты на производство и улучшает экологическую обстановку за счет уменьшения загрязнения почвы нитратами [6]. Ризобии играют важную роль в улучшении роста, развития и продуктивности сои. Они обеспечивают растения доступным азотом, повышают

урожайность, что делает выращивание сои более экологичным и безопасным для окружающей среды. Ризобии стимулируют развитие корневой системы, что способствует лучшему поглощению воды и питательных веществ из почвы. Благодаря дополнительному источнику азота растения сои формируют больше листьев, стеблей и корней. Отмечено также повышение продуктивности растений сои.

Симбиотическая фиксация азота напрямую влияет на урожайность сои. Растения, инфицированные эффективными штаммами ризобий, формируют наибольшее количество бобов и семян. Доказано, что эффективность фиксации азота зависит от штамма ризобий, условий окружающей среды и агротехнических мероприятий. Например, использование высокоэффективных инокулянтов (нитрагина) позволяет значительно повысить продуктивность даже на почвах с низким содержанием доступного азота [6]. Ризобии не только улучшают питание растений, но и способствуют их устойчивости к различным биотическим и абиотическим стрессорам. Растения сои, ассоциированные с ризобиями, демонстрируют повышенную устойчивость к фитопатогенам (например, грибным заболеваниям). Это связано с усилением иммунной системы растения за счет активации механизмов системного устойчивого ответа. Ризобии также способствуют улучшению водоудерживающей способности растений и их адаптации к неблагоприятным условиям среды. Некоторые штаммы ризобий выделяют antimикробные вещества, подавляющие рост патогенных микроорганизмов в ризосфере.

Использование ризобий в агротехнологиях имеет как экологические, так и экономические преимущества. Оно позволяет снизить затраты на минеральные удобрения, повысить рентабельность производства и улучшить экологическую обстановку за счет уменьшения загрязнения почвы нитратами [7]. Ризобии играют важную роль в улучшении роста, развития и продуктивности сои. Они обеспечивают растения доступным азотом, повышают

его устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды. Применение инокулянтов с эффективными штаммами ризобий является перспективным направлением для повышения урожайности сои и одним из основных факторов функционирования устойчивого земледелия.

Целью исследований явилось изучение влияния инокуляции семян сои коллекционными штаммами *Bradyrhizobium elkanii* на формирование урожая, его структуру и качество скороспелого сорта сои Алпетра. В задачи исследований входило:

1. Установление влияния чистых культур *Bradyrhizobium elkanii* на энергию прорастания и всхожесть семян сои сорта Алпетра.

2. Оценка роли инокуляции в формировании урожайности сои сорта Алпетра.

Условия, материалы и методы исследований. Полевые исследования проводили на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института сои (Амурская область, Тамбовский муниципальный округ, с. Садовое).

Почва луговая черноземовидная среднемощная (гумусовый слой (A+AB) составляет 20–30 см), характеризующаяся содержанием подвижного фосфора P_2O_5 и калия K_2O (по Кирсанову) – соответственно 12–23 и 170–210 мг/кг почвы; минерального азота NO_3+NH_4 – 18–25 мг/кг. Реакция почвенного раствора слабокислая (pH_{KCl} 5,2 ед.), гидролитическая кислотность (H_r) – 2,52 ммоль/экв. на 100 г почвы. В амурских почвах широко распространены природные популяции ризобий, способных модулировать сою и другие зернобобовые культуры.

Метеорологические условия в зоне проведения полевых исследований являются типичными для муссонного климата. Наиболее теплым месяцем выступает июль. Большее количество осадков выпадает в июле и августе. По среднемноголетним данным доля осадков в эти месяцы составляет 48 % от годовой суммы. В отдельные годы наблюдаются существенные отклонения показателей температуры воздуха и особенно количества осадков от среднемноголетних данных. В 2024 г. в зоне исследований среднемесячная тем-

пература воздуха в апреле – сентябре была на уровне среднемноголетних показателей. Распределение осадков по месяцам в течение вегетационного периода было неравномерным. В апреле сумма осадков превышала среднемноголетнее значение незначительно – на 17,3 мм. В июне этот показатель был в два раза выше, а в июле, августе, сентябре – практически в два раза ниже нормы. Это обстоятельство не позволило сорту Алпетра в полной мере раскрыть свой биологический потенциал.

Объектами исследований являлись семена и растения сои сорта Алпетра, чистые культуры ризобий, выделенные из природных популяций почв Дальнего Востока.

Сорт сои Алпетра создан в 2020 г., селекционный номер – Амурская 2495. Он относится к маньчжурскому (*manshurica*) подвиду, аprobационная группа – *flavida* Enk. Сорт был создан методом гибридизации ♀И.0144142 – Бара (ВНИИМК) × ♂Ам. 2177 с последующим использованием многократного индивидуального отбора с прослеживанием по потомству (метод педигри).

По производственной классификации относится к группе скороспелых сортов, с периодом вегетации 97 дней; созревает на 6–8 дней раньше скороспелого стандарта Лидия. Сорт предназначен для зоны с суммой активных температур в пределах 1 800–2 200 °C.

Общая площадь делянки составила 40 м², учетная – 20 м²; повторность четырехкратная, расположение делянок систематическое со смещением. Посев сои проводили 1 июня при норме высева, равной 550 тысяч всхожих семян на гектар. Предшественник – ячмень. Агротехника в опыте осуществлялась согласно системе земледелия Амурской области [8]. В день посева семена сои обрабатывались супензией штаммов клубеньковых бактерий из принятого расчета 100 000 клеток на одно семя.

В течение всего периода вегетации проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием растений сои. В фазы цветения (R_2) и образования бобов (R_3) отбирали почвенные образцы тростевым буром в 17–20 точках на учетной площади делянки, растительные – по 25 случайных растений с делянки. Учет количества и

массы клубеньков в фазу образования бобов проводили по методике [9].

Учет урожая сои осуществляли методом сплошного обмолота растений с учетной площади делянки комбайном John Deer 3070. Определение структуры урожая выполнялось по методике, описанной Б. А. Доспеховым [10].

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакетов программ PAST (PAIaeontological SStatistics) (версия 4.03, 2020) и Microsoft Excel [11].

Результаты исследований. В результате проведенных исследований по изучению влияния различных штаммов клубеньковых бактерий на прорастание и развитие семян сои сорта Аллпетра использование чистых культур *Bradyrhizobium elkanii* показало положительное влияние на скорость и энергию прорастания семян. В вариантах с инокуляцией семян наблюдалось снижение зараженности эпифитной микрофлорой. В среднем, энергия прорастания бактеризованных семян сои увеличилась на 15 %, длина проростков – на 120 %. При использовании штаммов *Bradyrhizobium elkanii* (в отличии от контрольных вариантов) микрофлора на семенах практически отсутствовала. Показатели энергии прорастания и длины проростков имели высокую вариабельность (коэффициенты вариации для прорастания и для длины проростков равны 68,9 % и 82,2 % соответственно).

Установлено, что наибольший эффект отмечается при использовании следующих штаммов *Bradyrhizobium elkanii*: Ву-25, Мд-0, Ву-9, Ву-10, ФЗ-28. Ризобии стимулировали рост длины проростков при средней вариабельности показателя (56,8 %). Инокуляция семян способствовала увеличению сырой массы проростков (коэффициент вариации – 45,2 %).

Обработка ризобиями положительно сказалась на накоплении сырой массы проростков при коэффициенте вариации 43,2 %. Наибольший прирост массы был зафиксирован у сои при обработке штаммами Ву-5 и Ву-25 (на 16–39 %).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокие показатели энергии прорастания семян сои наблюдали в вариантах с бактеризацией следующими штам-

мами *Bradyrhizobium elkanii*: Ву-5, Ву-10, Ву-11, Ву-25. Максимальные показатели сырой массы проростков сои, составившие 5,81 г на 10 растений, отмечены в варианте с использованием штамма Ву-25. Эти штаммы рекомендуется использовать при производстве биопрепаратов.

Проведенные фенологические наблюдения показали, что применение штаммов *Bradyrhizobium elkanii* не оказало существенного влияния на сроки наступления фенологических фаз (массовые всходы, формирование первого настоящего листа, бутонизация, налив бобов и полная спелость) и продолжительность межфазных периодов.

Учет густоты растений в фазу массовых всходов показал, что применение большинства штаммов не привело к значительным изменениям густоты растений по сравнению с контролем (табл. 1). Исключение составил вариант с инокуляцией семян штаммом Ву-9, где густота растений снизилась на 23,8 % (с 48 до 63 растений на квадратный метр) в сравнении с контролем, что является статистически значимым ($HCP_{05} = 12$ шт./ m^2).

К фазе полной спелости значительных различий в густоте стояния растений между вариантами опыта также не отмечено. Однако в вариантах с использованием штаммов Ву-4, Ву-6, Ву-9 и Мд-0 наблюдалось увеличение густоты посева на 5,4–13,7 % по сравнению с фазой массовых всходов. Это свидетельствует о возможном пролонгированном стимулирующем воздействии данных штаммов ризобий на семена, что обеспечивало прорастание ранее непроросших семян.

Сохранность растений к уборке варьировала от 77,9 до 113,7 %. Наибольшая сохранность была зафиксирована в вариантах с инокуляцией штаммами Ву-6 (113,7 %), Ву-9 (108,3 %), Ву-1 (105,6 %) и Мд-0 (105,4 %). В контроле этот показатель составил 85,7 %.

Комплексным показателем эффективности штаммов клубеньковых бактерий является повышение урожайности, которое ставят в приоритет многие исследователи. Изучение эффективности штаммов *Bradyrhizobium elkanii* в полевых условиях показало позитивное влияние применения изучаемых чистых культур на формирование общей продуктивности по-

Таблица 1 – Густота стояния растений в посеве и сохранность сои сорта Алпетра к уборке, 2023–2024 гг.

Table 1 – Plant density in sowing and preservation of Alpetra soybeans for harvesting, 2023–2024

Вариант	Густота растений, штук/м ²		Сохранность к уборке, %
	массовые всходы	полная спелость	
Контроль	63	54	85,7
By-1	54	57	105,6
By-5	61	51	83,6
By-6	51	58	113,7
By-9	48	52	108,3
By-10	68	53	77,9
By-11	59	55	93,2
By-25	59	53	89,8
Вр-1	51	49	96,1
Ф3-28	56	55	93,2
Мд-0	56	59	105,4

сева сои. Установлен прирост надземной массы растений на ризобиальном фоне в сравнении с контрольным вариантом (без инокуляции). Тенденция максимального накопления соевыми растениями сухого вещества в фазу налива бобов отмечена в вариантах с применением штаммов By-10, By-5, By-4, где прирост этого показателя

по отношению к контролю составлял соответственно 132; 91 и 70 % (табл. 2).

В этих же вариантах, а также на фоне применения штаммов By-6, наблюдалась тенденция увеличения массы корней и клубеньков. Существенный на 5-процентном уровне значимости прирост клубеньков в сравнении с контролем обе-

Таблица 2 – Формирование надземной массы, корней и клубеньков растениями сои сорта Алпетра в фазу налива бобов на одном растении, при инокуляции семян различными штаммами ризобий *Bradyrhizobium elkanii* (абсолютно сухая масса, 2023–2024 гг.)

Table 2 – Formation of aboveground mass, roots and nodules by Alpetra soybean plants during the bean filling phase on one plant, during inoculation of seeds with various strains of rhizobium *Bradyrhizobium elkanii* (absolutely dry mass, 2023–2024)

Вариант	Надземная часть		Корни		Клубеньки			
	г	%	г	%	масса		количество	
					г	%	штук	%
Контроль	9,0	100	1,8	100	0,18	100	35	100
By-4	17,3	191	2,0	109	0,37	203	75	214
By-5	15,4	170	2,2	124	0,31	174	73	209
By-6	12,1	134	2,1	117	0,30	164	54	154
By-9	13,6	151	1,8	100	0,34	186	43	123
By-10	20,9	232	2,1	119	0,36	197	60	171
By-11	10,5	117	1,7	95	0,36	200	80	229
By-25	10,7	118	1,9	108	0,49	271	56	160
Вр-1	10,6	118	2,0	111	0,37	204	53	151
Ф3-28	11,0	121	1,8	103	0,29	158	43	123
Мд-0	7,0	78	1,8	100	0,34	188	58	166

спечивали варианты с инокуляцией семян штаммами Ву-4, Ву-25, Вр-1. При этом достоверная прибавка показателя составила от 101 до 171 %. Отмечена достаточно определенная тенденция увеличения количества клубеньков во всех вариантах с инокуляцией семян изучаемыми штаммами ризобий.

Корреляционный анализ позволил установить сопряженность отдельных морфометрических параметров соевого растения изучаемого сорта. Анализ парной корреляционной матрицы в целом предполагает прямую среднюю сопряженность между изучаемыми биоморфометрическими показателями (табл. 3).

Изучение динамики накопления растениями сои основных элементов питания в наиболее критические фазы роста культуры позволило установить достаточно устойчивую тенденцию повышения содержания азота, фосфора и калия в растениях, произрастающих на инокулированном штаммами фоне. При этом применение в технологии возделывания культуры штамма ФЗ-28 обеспечило существенное превышение (2,4 %) по отношению к контролю содержания азота в растениях в фазу цветения (табл. 4).

Близкие к достоверным величинам прибавки в накоплении фосфора и калия установлены в вариантах с инокуляцией семян сои штаммами Ву-11 (по фосфору) и Ву-5, Вр-1 (по калию). Существенных различий в накоплении основных элементов питания растениями в фазу образования бобов в зависимости от изучаемых вариантов не наблюдалось.

В результате предпосевной инокуляции семян изучаемыми штаммами *Bradyrhizobium elkanii* установлено повышение semenной продуктивности посева сои сорта Алпетра (табл. 5). Наибольшую в сравнении с контролем прибавку урожайности семян обеспечили следующие штаммы: Ву-5, Ву-9, Ву-10, Ву-11, Ву-25, Вр-1, Мд-0. Величина прибавки, в пересчете на 1 га колебалась по вариантам от 0,32 до 0,47 т (при НСР₀₅ = 0,29 т/га).

Анализ структуры урожая показал, что применение штаммов Ву-6 и Ву-25 обеспечило увеличение в сравнении с контрольным вариантом индивидуальной продуктивности растений изучаемого сорта сои. Общая надземная биомасса растений в указанных вариантах была выше на 9,5 и 2,7 %, а семенная продуктивность – на 12,5 и 1,5 % соответственно (табл. 6). Штамм Ву-6 способствовал увеличению на 7,6 % по отношению к контролю крупности семян, полученных с урожаем, выраженной массой их 1 000 штук. В остальных изучаемых вариантах величина этого показателя, как и показателей других элементов структуры урожая, была на уровне значений, полученных в контроле (без обработки семян штаммами).

Заключение. 1. Установлена способность культур ризобий сои *Bradyrhizobium elkanii* стимулировать процесс прорастания семян и формирование здоровых проростков. В среднем, в вариантах с использованием штаммов *Bradyrhizobium elkanii* энергия прорастания семян сои возросла на 22 %, длина проростков – на 50 %, синая масса проростков – на 29 % по срав-

Таблица 3 – Парная корреляционная матрица сопряженности биоморфометрических показателей растений сои сорта Алпетра в фазу налива бобов, 2023–2024 гг.

Table 3 – Paired correlation matrix of the conjugacy of biomorphometric indicators of soybean plants of the Alpetra variety in the bean filling phase, 2023–2024

Показатели	Масса надземной части растения, г	Корни, г	Количество клубеньков, шт.	Масса клубеньков, г
Масса надземной части растения, г	1	–	–	–
Корни, г	0,63±0,45	1	–	–
Количество клубеньков, шт.	0,35±0,54	0,25±0,56	1	–
Масса клубеньков, г	0,16±0,57	0,11±0,57	0,45±0,52	1

Таблица 4 – Динамика накопления растениями сои основных элементов питания, 2023–2024 гг.

Table 4 – Dynamics of soybean plant accumulation of essential nutrients, 2023–2024
В процентах на абсолютно сухое вещество
As a percentage of a completely dry substance

Варианты	Цветение			Бобообразование		
	азот	фосфор	калий	азот	фосфор	калий
Контроль	2,96	0,53	1,56	2,95	0,64	1,60
By-4	2,92	0,58	1,66	3,00	0,62	1,63
By-5	2,96	0,59	1,74	3,10	0,53	1,59
By-6	2,98	0,54	1,67	2,93	0,67	1,66
By-9	2,99	0,54	1,66	2,92	0,69	1,57
By-10	2,93	0,59	1,67	2,98	0,66	1,58
By-11	2,92	0,60	1,66	2,94	0,66	1,59
By-25	2,98	0,56	1,67	2,95	0,65	1,61
Вр-1	2,96	1,59	1,74	2,97	0,63	1,60
Фз-28	3,03	0,52	1,70	2,93	0,65	1,66
Мд-0	2,97	0,56	1,72	2,96	0,61	1,51
HCP ₀₅	0,09	0,07	0,17	0,15	0,11	0,16
F_{ϕ}	1,15	1,34	0,71	0,97	1,28	0,58

Таблица 5 – Урожайность сои сорта Алпетра в зависимости от инокуляции семян штаммами *Bradyrhizobium elkanii*, 2023–2024 гг.

Table 5 – Alpetra soybean yield depending on seed inoculation with *Bradyrhizobium elkanii* strains, 2023–2024

В тоннах с одного гектара (in tons per hectare)

Вариант	Повторения				Средняя	Отношение к контролю
	I	II	III	IV		
Контроль (без обработки)	1,47	1,51	1,67	2,08	1,68	–
By-4	1,63	1,64	2,06	1,91	1,81	0,13
By-5	1,77	2,16	1,99	2,34	2,06	0,38
By-6	1,76	2,05	1,05	2,26	1,78	0,10
By-9	2,08	2,18	2,06	2,23	2,14	0,46
By-10	1,77	1,98	2,15	2,20	2,03	0,35
By-11	2,09	2,04	1,92	2,20	2,06	0,38
By-25	1,93	2,24	2,18	2,25	2,15	0,47
Вр-1	1,81	1,91	2,11	2,17	2,00	0,32
Фз-28	1,51	1,95	2,10	2,06	1,91	0,23
Мд-0	1,81	1,78	2,11	2,30	2,00	0,32
HCP ₀₅					0,29	

Таблица 6 – Структура урожая сои сорта Алпетра при обработке семян различными штаммами ризобий (на одно растение), 2023–2024 гг.

Table 6 – The structure of the Alpetra soybean crop during seed treatment with various strains of rhizobia (per plant), 2023–2024

Варианты	Высота, см		Количество, шт.		Масса, г		Масса 1 000 семян, г
	растения	прикрепления нижнего боба	бобов	семян	растения	семян	
Контроль	70	15	23	47	14,7	7,3	142,2
By-4	67	15	22	48	13,5	6,6	136,4
ВУ-5	68	15	21	42	12,2	5,9	139,0
By-6	68	14	25	55	16,1	8,2	153,0
By-9	74	14	22	48	13,3	6,9	142,0
By-10	66	16	17	36	11,0	5,1	139,6
By-11	68	14	21	49	12,7	6,5	132,4
By-25	72	16	23	53	15,1	7,4	138,8
Вр-1	71	16	23	51	13,8	7,0	136,0
Ф3-28	68	15	20	43	12,2	5,9	135,6
Мд-0	70	16	22	44	12,4	6,1	137,9

нению с контролем. Максимально стимулировали процесс прорастания семян сои штаммы By-5, By-6, By-10, By-11, By-25, Вр-1, Ф3-28, Мд-0.

2. Применение коллекционных штаммов *Bradyrhizobium elkanii* способствует значительному увеличению надземной массы растений сои сорта Алпетра. Наибольший эффект был достигнут при использовании штамма By-10 (232 % от контроля).

3. Инокуляция семян стимулировала развитие корневой системы сои. Максимальная масса корней была зафиксирована в варианте с использованием штамма By-5 (124 % от контроля).

4. Наиболее значительное увеличение массы и количества клубеньков наблюдалось при использовании штаммов ВУ-4, By-25 и Вр-1. Штамм By-25 обеспечил максимальную массу клубеньков (271 % от контроля), By-11 – наибольшее количество клубеньков (229 % от контроля).

5. Высокую эффективность показали штаммы By-5, By-9, By-10, By-11, By-25, Вр-1, Мд-0, достоверно повысив семенную продуктивность сои сорта Алпетра в сравнении с контролем на 0,32–0,47 тонн с гектара ($HCP_{05} = 0,29$ т/га). Максимальная прибавка урожая семян сои по отношению к контролю (0,47 т/га) получена в варианте с использованием штамма By-25.

Список источников

1. Mejri S. Potential of rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes // *Symbiosis*. 2018. P. 1–12. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.73495>.
2. Neda E. K. Competency of rhizobial inoculation in sustainable agricultural production and biocontrol of plant siseases // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. P. 1–22. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2021.728014>.
3. Тарчков Х. Ш. Особенности методики агротехнологических приемов возделывания сои : монография. Нальчик : Принт Центр, 2019. 68 с. EDN HMZFDW.
4. Матвейчук П. Н., Лысенко Н. Н., Прудникова Е. Г. Передовой опыт возделывания сои в производственных условиях ООО «Дубовицкое» Орловской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 1 (29). С. 47–55. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11072. EDN YZEUPR.
5. Якименко М. В., Бегун С. А. Оценка действия препаратов растительного происхождения на рост и развитие микро- и макросимбионтов сои // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (140). С. 245–252. EDN VOMCDC.

6. Феоктистова Н. В., Морданова Г. Ф., Хадиева М. Р., Шарипова М. Р. Ризосферные бактерии // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 158. № 2. С. 207–224. EDN WGNBEN.
7. Lopez S. M. Y., Sanchez M. D. M., Pastorino G. N. Nodulation and delayed nodule senescence: Strategies of two *Bradyrhizobium Japonicum* isolates with high capacity to fix nitrogen // Current Microbiology. 2018. No. 75. P. 997–1005. doi: 10.1007/s00284-018-1478-0.
8. Система земледелия Амурской области : производственно-практический справочник / под ред. П. В. Тихончука. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2016. 570 с. doi: 10.22450/9785964202769. EDN XRDEZF.
9. Бегун С. А. Способы, приемы изучения и отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои. Методы аналитической селекции : методические рекомендации. Благовещенск : Зея, 2005. 70 с. EDN QKXXEN.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. М. : Альянс, 2011. 351 с. EDN QLCQEP.
11. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Paleontological statistics (version 3.26). University of Oslo, 2014. 78 p.

References

1. Mejri S. Potential of rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes. *Simbiosis*, 2018;1–12. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.73495>.
2. Neda E. K. Competency of rhizobial inoculation in sustainable agricultural production and biocontrol of plant siseases. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021;5:1–22. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2021.728014>.
3. Tarchokov Kh. Sh. *Peculiarities of the methodology of agrotechnological soybean cultivation techniques: monograph*, Nal'chik, Print Tsentr, 2019, 68 p. EDN HMZFDW (in Russ.).
4. Matveychuk P. N., Lysenko N. N., Prudnikova E. G. Advanced experience of soybean cultivation in the production conditions of Dubovitskoe LLC, Orel region. *Zernoboboye i krupyanje kul'tury*, 2019;1(29):47–55. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11072. EDN YZEUPR (in Russ.).
5. Yakimenko M. V., Begun S. A. Evaluation of the effect of herbal products on the growth and development of soybean micro- and macrosymbionts. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018;5(140):245–252. EDN VOMCDC (in Russ.).
6. Feoktistova N. V., Mordanova G. F., Khadieva M. R., Sharipova M. R. Rhizosphere bacteria. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2016;158;2:207–224. EDN WGNBEN (in Russ.).
7. Lopez S. M. Y., Sanchez M. D. M., Pastorino G. N. Nodulation and delayed nodule senescence: Strategies of two *Bradyrhizobium Japonicum* isolates with high capacity to fix nitrogen. *Current Microbiology*, 2018;75:997–1005. doi: 10.1007/s00284-018-1478-0.
8. Tikhonchuk P. V. (Eds). *The farming system of the Amur region: a production and practical guide*, Blagoveshchensk, Dal'nrevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2016, 570 p. doi: 10.22450/9785964202769. EDN XRDEZF (in Russ.).
9. Begun S. A. *Methods, techniques for studying and selecting effective strains of soybean nodule bacteria. Methods of analytical selection: guidelines*, Blagoveshchensk, Zeya, 2005, 70 p. EDN QKXXEN (in Russ.).
10. Dospelkov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook*, Moscow, Al'yans, 2011, 351 p. EDN QLCQEP (in Russ.).
11. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Paleontological statistics (version 3.26), University of Oslo, 2014, 78 p.

© Рафальская О. М., Рафальский С. В., Рафальская Н. Б., 2025

Статья поступила в редакцию 22.09.2025; одобрена после рецензирования 01.12.2025; принята к публикации 05.12.2025.

The article was submitted 22.09.2025; approved after reviewing 01.12.2025; accepted for publication 05.12.2025.

Информация об авторах

Рафальская Ольга Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, rom@vniisoi.ru;

Рафальский Сергей Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, rsv@vniisoi.ru;

Рафальская Наталья Батрабековна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, rnb0776@mail.ru

Information about authors

Olga M. Rafalskaya, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, rom@vniisoi.ru;

Sergey V. Rafalskiy, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, rsv@vniisoi.ru;

Natalia B. Rafalskaya, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, rom@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 636.1:619:616-07

EDN PSUFKL

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-68-76>

**Изучение температуры тела табунных лошадей
с использованием тепловизионной термографии**

**Леонид Николаевич Владимиров¹, Варвара Анатольевна Мачахтырова²,
Василена Васильевна Слепцова³, Нарыя Иннокентьевна Павлова⁴,
Владислав Амирович Алексеев⁵**

^{1, 2, 3, 4} Академия наук Республики Саха (Якутия), Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

⁵ Якутский научный центр комплексных медицинских проблем

Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ vladimirovln@mail.ru, ² varvara-an@mail.ru, ³ vvsleptsova1990@mail.ru,

⁴ naryya.pavlova@mail.ru, ⁵ yldslvalekseev@gmail.com

Аннотация. Мониторинг температуры тела животных играет ключевую роль в оценке их физиологического состояния и адаптации к температурному стрессу, особенно при экстенсивном содержании. Тепловизионная термография представляет неинвазивный метод, позволяющий дистанционно оценивать поверхностную температуру тела. Однако ее показания могут зависеть от таких факторов, как длина, густота и цвет шерсти. Цвет волосяного покрова может влиять на способность отражать или поглощать солнечную радиацию, что напрямую связано с тепловой нагрузкой на организм. Якутская лошадь, обладающая высокой адаптацией к экстремальным климатическим условиям, является перспективной моделью для изучения терморегуляции. Целью работы стало выявление различий поверхностной температуры тела у якутских лошадей разной масти с использованием тепловизионной термографии. Исследование проведено на трех кобылах (серой, вороной, пегой мастей) в естественных условиях пастбищного содержания при температуре 23 °C, безоблачной погоде и отсутствии кровососущих насекомых. При одинаковой ректальной температуре (38,6 °C) средняя поверхностная температура тела составила: у серой кобылы – 20,8 °C, пегой – 25,8 °C, вороной – 32,7 °C. Максимальная температура зафиксирована на темных участках тела кобылы вороной масти (до 45,4 °C). У пегой кобылы разница между пигментированными и непигментированными участками достигала 8,2 °C. Результаты подтверждают, что светлая масть эффективнее отражает солнечное излучение, снижая нагрев поверхности тела. Полученные данные важны для совершенствования селекции и мониторинга адаптивных качеств якутской породы.

Ключевые слова: табунное коневодство, тепловизионная термография, якутская порода лошади, температура тела, масть, термограмма

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-20083 при софинансировании АНО «Якутский научный фонд».

Для цитирования: Владимиров Л. Н., Мачахтырова В. А., Слепцова В. В., Павлова Н. И., Алексеев В. А. Изучение температуры тела табунных лошадей с использованием тепловизионной термографии // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 68–76. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-68-76>.

Original article

Study of body temperature of herd horses by thermal imaging thermography

**Leonid N. Vladimirov¹, Varvara A. Machakhtyrova², Vasilena V. Sleptsova³,
Narya I. Pavlova⁴, Vladislav A. Alekseev⁵**

^{1, 2, 3, 4} Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia)
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

⁵ Yakut Scientific Center for Complex Medical Problems
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ vladimirovln@mail.ru, ² varvara-an@mail.ru, ³ vvsleptsova1990@mail.ru,
⁴ naryya.pavlova@mail.ru, ⁵ vldslvalekseev@gmail.com

Abstract. Monitoring the body temperature of animals is important for assessing the physiological state and adaptation to temperature stress. Thermal imaging thermography is a non-invasive method that allows remote assessment of body surface temperature. Its indications may depend on the length, density and color of the coat. The color of the hair can affect the ability to reflect or absorb solar radiation, which is directly related to the heat load on the body. The Yakut horse, which is highly adaptable to extreme climatic conditions, is a promising model for studying thermoregulation. The aim of the research was to identify differences in the surface body temperature of Yakut horses of different colors using thermal imaging thermography. The study was conducted on three mares (gray, black, and piebald) in natural pasture conditions at a temperature of 23 °C, cloudless weather, and the absence of blood-sucking insects. At the same rectal temperature (38.6 °C), the average surface body temperature was: the gray mare has 20.8 °C, the piebald mare has 25.8 °C, and the black mare has 32.7 °C. The maximum temperature is recorded in the dark areas of the body of a black mare (up to 45.4 °C). In the piebald mare, the difference between pigmented and unpigmented areas reached 8.2 °C. It can be concluded that a light color reflects solar radiation more effectively, reducing the heating of the body surface. The results obtained are important for improving breeding and monitoring the adaptive qualities of the Yakut breed.

Keywords: herd horse breeding, thermal imaging thermography, Yakut horse breed, body temperature, color, thermogram

Funding: the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 25-16-20083 with co-financing from the Autonomous Non-Profit Organization "Yakut Science Foundation".

For citation: Vladimirov L. N., Machakhtyrova V. A., Sleptsova V. V., Pavlova N. I., Alekseev V. A. Study of body temperature of herd horses by thermal imaging thermography. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:68–76. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-68-76>.

Введение. В животноводстве мониторинг температуры тела является одной из важных в диагностике физиологического состояния животных [1], в частности для оценки уровня температурного стресса у животных под воздействием жары или холода [2], в особенности при экстенсивном ведении производства. Тепловизионная термография (ТТ) представляет один из эффективных неинвазивных методов, использующий излучение поверхности кожи животных для оценки их терморегуляции с отображением визуального тепловизионного изображения – термограммы. В медицине и ветеринарии ТТ использу-

ется в качестве диагностического инструмента для оценки нормального и физиологического состояния [3]. Однако такие факторы, как толщина кожи, наличие и длина шерсти, могут значительно влиять на показания, получаемые для получения объективных и чувствительных значений тепловизионного оборудования [4].

Некоторые исследователи связывают цвет шерсти животных с адаптивностью к тепловому стрессу, поскольку пигментация волосяного покрова напрямую влияет на оптические свойства поверхности тела – в первую очередь, на коэффициент отражения и поглощения солнечной

радиации [5]. W. Silva с соавторами (2022) установили, что окрас шерсти (масть) волосяного покрова животных имеет существенное значение в терморегуляции при воздействии теплового стресса. Так, животные с темным окрасом шерсти поглощают значительно больше солнечного тепла по сравнению со светлыми особями, что может усиливать нагрузку на терморегуляторные механизмы в жарких климатических условиях, и, как следствие, ведет к повышенному риску перегрева в условиях высоких температур окружающей среды [6]. В то же время отмечается влияние, что животные светлой масти при солнечной погоде проводили больше времени на выпасе, чем животные с темной мастю, что свидетельствует о том, что окрас шерсти является признаком, который может оказывать влияние на продуктивность скота в условиях теплового стресса [7]. Это во многом объясняет более широкое распространение светлых мастей среди пород, адаптированных к южным регионам, например, у африканского скота [8]. Таким образом, окрас шерсти животных выступает не только как внешний фенотипический признак, но и как один из элементов адаптации к климатическим условиям.

Высокая приспособленность якутской лошади к экстремальным условиям делает ее наиболее подходящей «моделью» для изучения механизмов терморегуляции крупных животных к холоду. В истории коневодства Якутии было проведено много попыток улучшить продуктивность якутских лошадей путем скрещивания с культурными породами [9]. Однако такая стратегия улучшения разведения столкнулась со многими проблемами, включая неблагоприятные кормовые и суровые климатические условия. В этой связи, в последующем, основной акцент в селекции в якутском табунном коневодстве был сделан на совершенствовании адаптационных качеств якутских лошадей с применением чистопородного разведения. Тем не менее, ранее проведенные селекционные опыты оставили «след» в масти табунных лошадей.

Так, в своей работе 1896 г. издания, В. Л. Серошевский приводит данные, что у якутских лошадей «масть преимущественно белая, серая, вообще бледных цветов.

Однако, вороной конь высоко ценится якутами, но он редок. На севере в основном господствует белый, мало цветных лошадей» [10, С. 158]. Впоследствии, в работах Н. Д. Алексеева с соавторами (2006) отмечено, что масть лошадей якутской породы достаточно разнообразна; наиболее часто встречаются мышастая, гнедая, рыжая, пегая масти и серая разных оттенков; менее часто встречаются чубарая, саврасая масть. И только у лошадей янского и колымского типа якутской породы, которые считаются самыми северными лошадьми, преобладают светлые масти – серая и мышастая разных оттенков вплоть до белой [11, С. 15–21].

В связи с изложенным, становится более важным детальное изучение адаптивных качеств табунных лошадей якутской породы с преобладающим серым или вороным окрасом, поскольку цвет волосяного покрова влияет на поглощение солнечной энергии. Учет этого фактора будет способствовать более глубокому пониманию особенности терморегуляции животных и разработке селекционных стратегий по повышению устойчивости к температурным нагрузкам, особенно в условиях экстенсивного содержания.

Целью исследований является выявление различий поверхностной температуры тела между лошадьми якутской породы светлой и темной масти с помощью тепловизионной термографии.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на коневодческой базе в пригороде г. Якутска. Были использованы три кобылы, отличающиеся серой, вороной и пегой (пигментированной) мастю в возрасте 6 и 8 лет, в лuteальной фазе полового цикла. Все три оцениваемые животные подвергались воздействию естественных факторов в одинаковой степени. Так, для избежания стресса животных от лёта кровососущих насекомых измерения проводились во время пастбищного выпаса лошадей в начале сентября, в дневное время, в безоблачные солнечные дни. Были выбраны два последовательных солнечных дня, которые считались репрезентативными для данного сезона. Содержание кобыл в хозяйстве осуществляется по той технологии табунного коневодства, которая принята в регионе, когда лошади в это время содер-

жатся на пастбищах без дополнительной подкормки на свободном выпасе.

Термография была проведена, когда кобылы находились на пастбище в течение 1,5–2 часов в открытом месте под воздействием солнечного излучения большую часть дня. Термографические снимки сделаны тепловизионной камерой Mileseey TR256B Handheld Thermal Camera User Manual. Тепловизор имеет инфракрасное разрешение 256×192 пикселей, тепловую чувствительность 100 мК. Оборудование было откалибровано на коэффициент излучения 0,97 для биологических объектов. Для анализа изображений использована световая палитра Special. Изображения были сделаны поочередно между всеми тремя кобылами в одном и том же месте на расстоянии 3 м от кобылы одним и тем же специалистом.

Термографические снимки были проанализированы с помощью программного обеспечения Thermal Smart OS. Переменными, полученными с помощью термографии поверхности тела, были температуры тела внутри прямоугольника, нарисованного на корпусе кобыл по линиям: по спине от холки до конца крупа, касательно седалищных бугров, по нижнему краю брюха от предплечья до середины бедренной кости (R1), а также температура в самом горячем (P1) и в самом холодном участках (P2) в пределах прямоугольника. Кроме того, учитывали температуру поверхности тела в зависимости от наличия или отсутствия пигментации на туловище пегой кобылы.

Таблица 1 – Показатели переменных поверхности температуры тела кобыл якутской породы серой, вороной и пегой мастей, находящихся на выпасе в солнечный день
Table 1 – Indicators of body temperature surface variables of Yakut mares of gray, black and piebald colors grazing on a sunny day

В градусах Цельсия (in degrees Celsius)

Переменные	Масть кобыл		
	серая	вороная	пегая
Средняя температура в прямоугольнике	20,9±0,09	32,9±0,14***	25,8±0,11***
Температура в самой горячей точке	28,2	45,4	35,0
Температура в самой холодной точке	15,2	30,2	20,6
Ректальная температура тела	38,6	38,6	38,6

*** $p < 0,001$.

Измерения ректальной температуры проводили ртутным термометром по окончании проведения термографии, по истечении 45–50 минут после загона кобыл в раскол (около 17 часов). Температура окружающей среды, влажность и скорость ветра были взяты в онлайн-режиме с сайта Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Статистическая обработка проводилась по общепринятым методам, с применением *t*-критерия Стьюдента.

Результаты исследований. Средняя температура воздуха составила 23 °C, влажность – 45 %. Отмечалась безоблачная погода со скоростью ветра 3 м/с, с порывами 5–6 м/с. Указанные температура и влажность окружающей среды находились в пределах зоны комфорта для животных [12]. Полное отсутствие кровососущих насекомых позволило лошадям пастись в спокойном темпе.

В результате наших исследований, полученных в ходе анализа тепловизионных снимков и термограмм кобыл, были выявлены различия между температурой поверхности тела у всех трех кобыл разной масти. Так, кобыла серой масти достоверно имела низкую температуру поверхности тела, чем кобылы с темной ($p < 0,001$) и пегой мастями ($p < 0,001$) (табл. 1).

Средняя поверхностная температура тела кобылы серой масти (рис. 1) составила 20,9 °C, что на 4,9 °C ниже показателя у кобылы пегой масти (25,8 °C) и на 12,0 °C по сравнению с кобылой вороной масти (32,9 °C) (рис. 2). Эти различия нагляд-

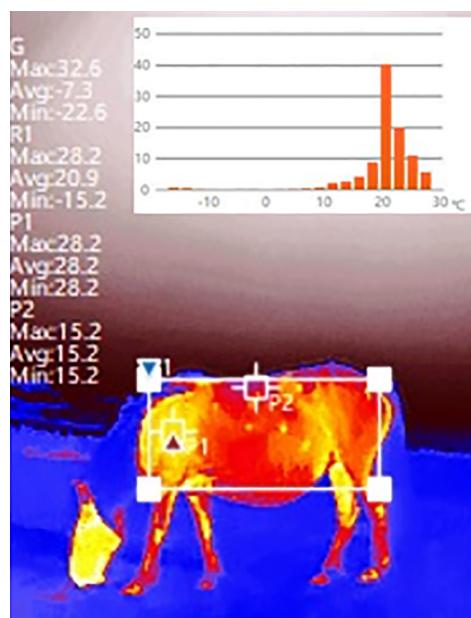


Рисунок 1 – Нормальная фотография кобылы серой масти (слева) и термография кобылы с нарисованным прямоугольником, с самым горячим (P1) и холодным (P2) участками (справа)

Figure 1 – Normal photograph of a gray-colored mare (left) and thermography of the mare with a drawn rectangle, with the hottest (P1) and coldest (P2) areas (on the right)

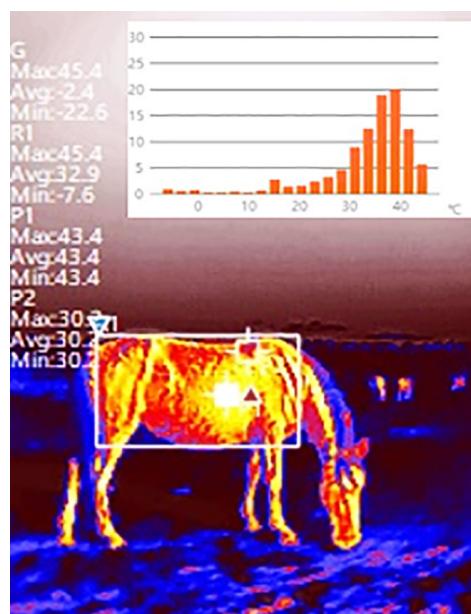


Рисунок 2 – Нормальная фотография кобылы вороной масти (слева) и термография кобылы с нарисованным прямоугольником, с самым горячим (P1) и холодным (P2) участками (справа)

Figure 2 – Normal photograph of a black-colored mare (left) and thermography of the mare with a drawn rectangle, with the hottest (P1) and coldest (P2) areas (on the right)

но демонстрируют влияние пигментации волосяного покрова на терморегуляцию животных под воздействием солнечной радиации. Анализ максимальных и минимальных значений температуры в светлых

и темных участках показал аналогичную закономерность: максимальная температура на теле серой кобылы достигала 28,2 °C, в то время как у пегой и вороной кобыл она составляла 35,0 °C и 45,4 °C со-

ответственно. Минимальные значения также варьировали: 15,2 °C у серой, 20,6 °C у пегой и 30,2 °C у вороной кобылы, что указывает на более равномерный и интенсивный прогрев темного волосяного покрова. При этом ректальная температура у всех трех кобыл была одинаковой (38,6 °C), что соответствует нормальным физиологическим показателям для лошадей и свидетельствует об отсутствии клинических признаков теплового стресса.

Таким образом, наблюдаемые различия касаются исключительно поверхностного нагрева шерстного покрова, а не внутренней температуры организма. Полученные данные согласуются с теорией о том, что светлая масть обладает более высокой способностью отражать солнечное излучение, в то время как темная шерсть эффективно поглощает солнечную энергию, что приводит к значительному локальному нагреву поверхности кожи [6, 7]. Это подтверждает важность учета масти при интерпретации термографических данных, особенно в полевых условиях. Тем не менее, для достоверного обобщения полученных результатов требуется расширение выборки и проведение исследований на большем количестве живот-

ных с учетом сезонных и метеорологических факторов.

Визуализация данных на термограмме (рис. 3) четко демонстрирует контраст между светлыми и темными зонами у пегой кобылы, где пигментированные участки имели значительно более высокую температуру по сравнению с непигментированными. Светлый участок поверхности тела с отсутствием пигментирования на термограмме имел затемненный оттенок более красного цвета, что указывал на более низкую температуру поверхности тела (32,0 °C против 22,4 °C участка темного оттенка). Разница между температурой пигментированного и непигментированного участков составила 9,6 °C. Кроме того, взяли температуру поверхности тела у пегой кобылы на границе пигментированного и непигментированного участков с расстоянием примерно 4–5 см, которая составила 27,2 и 23,2 °C соответственно (разница в 4 °C). При этом температура светлого участка пегой кобылы (20,6 °C) была выше, чем у кобылы серой масти (15,2 °C). Это же подтверждается работой J. V. Isola с соавторами (2020), которые установили также низкую температуру белых пятен у коров с рыжей пигментацией,

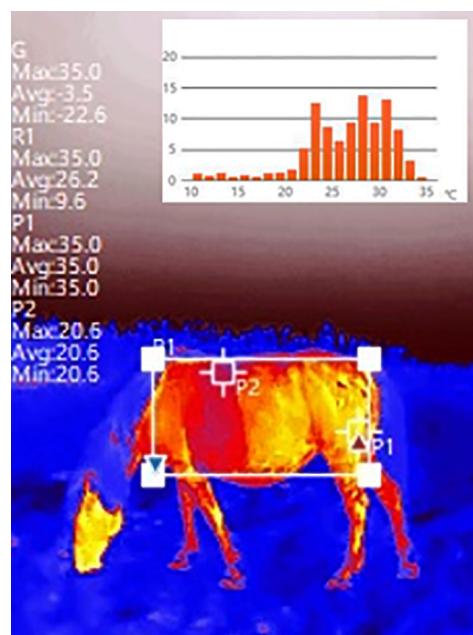


Рисунок 3 – Нормальная фотография кобылы пегой масти (слева) и термография кобылы с нарисованным прямоугольником, с самым горячим (P1) и самым холодным (P2) участками (справа)

Figure 3 – Normal photograph of a piebald mare (left) and thermography of the mare with a drawn rectangle, with the hottest (P1) and coldest (P2) areas (on the right)

чем у коров с черной пигментацией, предположив, что большая тепловая энергия, поглощаемая более темными пятнами, по крайней мере частично, распределяется по поверхности животного [6].

В целом, температура поверхности тела, измеренная тепловизионной термографией, у кобылы серой масти варьировалась от 22,6 °C до 32,6 °C, вариация составила 10 °C; у кобылы пегой масти – от 22,6 °C до 35,0 °C с вариацией 12,4 °C; у кобылы вороной масти – от 22,6 °C до 45,4 °C с самой высокой вариацией из всех трех исследованных животных – 22,8 °C.

Это показывает на широкий разброс температуры поверхности тела по отдельным участкам животных, на который возможно повлияли индивидуальные анатомические особенности телосложения и отдельных его частей, возраста и факторов окружающей среды, в которых кобылы находились. В этой связи важно продолжить исследования.

Полученные результаты помогают понять взаимосвязь между температурой поверхности тела и фенотипом табунных лошадей, содержащихся круглогодично (24/7) на открытом воздухе и, соответственно, подвергающихся большему влиянию факторов окружающей среды как в летнее, так и в зимнее время. Тем не менее очевидно, что табунные лошади якутской породы, имеющие светлую масть, переносят воздействие прямых солнечных лучей лучше, чем лошади более темных мастей, поскольку светлая масть имеет более высокие значения отражательной способности по сравнению с темным цветом окраса волосяного покрова.

Таким образом, тепловизионная термография способна определять небольшие изменения температуры в целом и по отдельным участкам и точно фиксировать ее динамику. Но самым важным преимуществом является ее дистанционность или

бесконтактность, что особенно актуально в табунном коневодстве.

Заключение. В настоящее время научные данные о взаимосвязи масти и процессов терморегуляции у якутской лошади остаются крайне ограниченными. В этой связи особую значимость приобретает применение бесконтактной технологии тепловизионной термографии, позволяющей дистанционно измерять поверхностную температуру тела в анатомически значимых участках тела животных.

Учитывая полудикий характер якутских лошадей при практическом отсутствии близкого контакта с человеком, данный метод становится особенно актуальным для проведения мониторинга состояния животных в условиях табунного содержания. Для эффективного применения термографии необходимо разработать модель корреляции между показателями поверхностной температуры, внутренней температуры тела и кондиционной устойчивости лошадей в различные сезоны года. Такой подход позволит повысить достоверность оценки физиологического состояния и адаптивных качеств животных, а также оптимизировать методы их мониторинга и селекции.

Широкое внедрение тепловизионной диагностики откроет возможности для выявления особей с наиболее выраженными признаками экологической устойчивости, а также обнаружения животных со слабо-выраженными признаками болезней или воспалительных процессов. Это, в свою очередь, способствует совершенствованию селекционных программ и повышению точности отбора ценных производителей в популяции якутской породы. Таким образом, дальнейшее расширение исследований с использованием данной технологии является важным направлением для развития устойчивого табунного коневодства в условиях Крайнего Севера.

Список источников

1. McManus C., Tanure C. B., Peripolli V., Seixas L., Fischer V., Gabbi A. M. [et al.]. Infrared thermography in animal production: An overview // Computers and Electronics in Agriculture. 2016. Vol. 123. P. 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>.
2. Saladini M., Salles V., Corrêa da Silva S., Salles F. A., Roma L. C., Faro L. E. [et al.]. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography // Journal of Thermal Biology. 2016. Vol. 62. P. 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>.

3. Murugeswari S., Murugan K., Rajathi S., Kumar S. M. Monitoring body temperature of cattle using an innovative infrared photodiode thermometer // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 198. P. 107120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107120>.
4. Mota-Rojas D., Pereira A. M., Martínez-Burnes J., Domínguez-Oliva A., Mora-Medina P., Casas-Alvarado A. [et al.]. Thermal imaging to assess the health status in wildlife animals under human care: Limitations and perspectives // Animals: an Open Access Journal from MDPI. 2022. No. 12. doi: 10.3390/ani12243558.
5. Silva W., Silva É., Pereira S., Colares C., Corrêa B., Silva J. [et al.]. Behavior and thermal comfort of light and dark coat dairy cows in the Eastern Amazon // Frontiers in Veterinary Science. 2022. Vol. 9.
6. Isola J. V., Menegazzi G., Busanello M., Santos S. B., Agner H. S. S., Sarubbi J. Differences in body temperature between black-and-white and red-and-white Holstein cows reared on a hot climate using infrared thermography // Journal of Thermal Biology. 2020. Vol. 94. P. 102775. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102775>.
7. Finch Virginia A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds // Crop & Pasture Science. 1985. Vol. 36. P. 497–508.
8. Mwai O., Hanotte O., Kwon Y. J., Cho S. African indigenous cattle: Unique genetic resources in a rapidly changing world // Asian-Australas Journal of Animal Sciences. 2015. Vol. 28. No. 7. P. 911–921. doi: 10.5713/ajas.15.0002R.
9. Алексеев Н. Д., Иванов Р. В., Степанов Н. П., Шахурдин Р. М. Итоги селекционной работы по совершенствованию продуктивных качеств лошадей якутской породы // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 5. С. 62–64. EDN NUNBST.
10. Серошевский В. Л. Якуты. Опыт этнографического исследования. М., 1993. 736 с.
11. Алексеев Н. Д., Неустроев М. П., Иванов Р. В. Биологические основы повышения продуктивности лошадей : монография. Якутск : Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 2006. 280 с. EDN YVNOOG.
12. Ковальчикова М., Ковальчик К. Адаптация и стресс при содержании и разведении сельскохозяйственных животных. М. : Колос, 1978. 271 с.

References

1. McManus C., Tanure C. B., Peripolli V., Seixas L., Fischer V., Gabbi A. M. [et al.]. Infrared thermography in animal production: An overview. Computers and Electronics in Agriculture, 2016;123:10–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>.
2. Saladini M., Salles V., Corrêa da Silva S., Salles F. A., Roma L. C., Faro L. E. [et al.]. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. Journal of Thermal Biology, 2016;62:63–69. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>.
3. Murugeswari S., Murugan K., Rajathi S., Kumar S. M. Monitoring body temperature of cattle using an innovative infrared photodiode thermometer. Computers and Electronics in Agriculture, 2022;198:107120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107120>.
4. Mota-Rojas D., Pereira A. M., Martínez-Burnes J., Domínguez-Oliva A., Mora-Medina P., Casas-Alvarado A. [et al.]. Thermal imaging to assess the health status in wildlife animals under human care: Limitations and perspectives. Animals: an Open Access Journal from MDPI, 2022; 12. doi: 10.3390/ani12243558.
5. Silva W., Silva É., Pereira S., Colares C., Corrêa B., Silva J. [et al.]. Behavior and thermal comfort of light and dark coat dairy cows in the Eastern Amazon. Frontiers in Veterinary Science, 2022;9.
6. Isola J. V., Menegazzi G., Busanello M., Santos S. B., Agner H. S. S., Sarubbi J. Differences in body temperature between black-and-white and red-and-white Holstein cows reared on a hot climate using infrared thermography. Journal of Thermal Biology, 2020;94:102775. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102775>.
7. Finch Virginia A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. Crop & Pasture Science, 1985;36:497–508.
8. Mwai O., Hanotte O., Kwon Y. J., Cho S. African indigenous cattle: Unique genetic resources in a rapidly changing world. Asian-Australas Journal of Animal Sciences, 2015;28;7:911–921. doi: 10.5713/ajas.15.0002R.

9. Alekseev N. D., Ivanov R. V., Stepanov N. P., Shakhurdin R. M. The results of breeding work to improve the productive qualities of horses of the Yakut breed. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2011;5:62–64 EDN NUNBST (in Russ.).
10. Seroshevskii V. L. *The Yakuts. The experience of ethnographic research*, Moscow, 1993, 736 p. (in Russ.).
11. Alekseev N. D., Neustroev M. P., Ivanov R. V. *Biological bases of increasing productivity of horses: monograph*, Yakutsk, Yakutskii nauchno-issledovatel'skii institut sel'skogo khozyaistva, 2006, 280 p. EDN YVNOOG (in Russ.).
12. Kovalchikova M., Kovalchik K. *Adaptation and stress during the maintenance and breeding of farm animals*, Moscow, Kolos, 1978, 271 p. (in Russ.).

© Владимиров Л. Н., Мачахтырова В. А., Слепцова В. В., Павлова Н. И., Алексеев В. А., 2025
 Статья поступила в редакцию 16.09.2025; одобрена после рецензирования 13.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.
 The article was submitted 16.09.2025; approved after reviewing 13.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.

Информация об авторах

Владимиров Леонид Николаевич, доктор биологических наук, профессор, Академия наук Республики Саха (Якутия), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6026-3679>, Author ID: 289067, vladimirovln@mail.ru;

Мачахтырова Варвара Анатольевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Академия наук Республики Саха (Якутия), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0988-0943>, Author ID: 683323, varvara-an@mail.ru;

Слепцова Василина Васильевна, научный сотрудник, Академия наук Республики Саха (Якутия), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0657-4355>, Author ID: 982953, vvsleptsova1990@mail.ru;

Павлова Нарына Иннокентьевна, научный сотрудник, Академия наук Республики Саха (Якутия), Author ID: 1268552, naryya.pavlova@mail.ru;

Алексеев Владислав Амирович, научный сотрудник, Якутский научный центр комплексных медицинских проблем, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6751-6210>, Author ID: 531039, yldslvalekseev@gmail.com

Information about the authors

Leonid N. Vladimirov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6026-3679>, Author ID: 289067, vladimirovln@mail.ru;

Varvara A. Machakhtyrova, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0988-0943>, Author ID: 683323, varvara-an@mail.ru;

Vasilena V. Sleptsova, Researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0657-4355>, Author ID: 982953, vvsleptsova1990@mail.ru;

Naryia I. Pavlova, Researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Author ID: 1268552, naryya.pavlova@mail.ru;

Vladislav A. Alekseev, Researcher, Yakut Scientific Center for Complex Medical Problems, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6751-6210>, Author ID: 531039, yldslvalekseev@gmail.com

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 636:612.3

EDN RUNNFD

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-77-83>

Морфофункциональные изменения поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион люпина белого

Светлана Владимировна Карамушкина¹, Надежда Алексеевна Сергеенкова²

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

Аннотация. В статье представлены результаты исследований морфофункциональных изменений внешнесекреторного аппарата поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9» в возрасте 42 суток при введении в рацион 7,5 % белого люпина как альтернативного источника протеина. Люпин характеризуется высоким содержанием сырого протеина (40 %) и жира (17 %), а также низким уровнем ингибиторов трипсина (0,08–0,16 г/кг), что обеспечивает высокую переваримость (85,5 %) и экономическую целесообразность по сравнению с соевым и подсолнечным шротом. Методом пар аналогов сформированы контрольная (стандартный комбикорм с подсолнечным шротом) и опытная группы. Гистологический анализ проводился с применением окраски гематоксилином-эозином, морфометрия – на светооптическом микроскопе с последующей статистической обработкой полученных данных (*t*-критерий Стьюдента, $p < 0,05$). Выявлено статистически значимое увеличение площади ацинусов на 12,5 % ($p < 0,02$), высоты ацинарных клеток на 21,1 % ($p < 0,01$), диаметра внутридольковых протоков на 9,7 % ($p < 0,02$) и площади просвета междольковых протоков на 14,8 % ($p < 0,01$), что свидетельствует о гипертрофии секреторных элементов и оптимизации эвакуации панкреатического сока. Отсутствие дистрофических или воспалительных изменений подтверждает стимулирующий эффект люпина в указанной дозе на экзокринную функцию железы, способствуя повышению переваримости нутриентов и продуктивных показателей птицы. Полученные данные обосновывают рекомендации по нормированному включению люпина в рационы бройлеров для замены традиционных протеиновых добавок.

Ключевые слова: люпин белый, альтернативный источник протеина, цыплята-бройлеры, поджелудочная железа, гистоструктура

Финансирование: исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российской научного фонда № 25-26-00133 «Физиологическая оценка белковых добавок для определения норм потребностей и разработки рационов цыплят-бройлеров с использованием фистульных технологий».

Для цитирования: Карамушкина С. В., Сергеенкова Н. А. Морфофункциональные изменения поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион люпина белого // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 77–83. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-77-83>.

Original article

Morphofunctional changes in the pancreas of broiler chickens when white lupine is introduced into the diet

Svetlana V. Karamushkina¹, Nadezhda A. Sergeenkova²

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

Abstract. The results of studies of morphofunctional changes in the external secretory apparatus of the pancreas of broiler chickens of the Smena-9 cross (age 42 days) are shown. 7.5% white

lupine was introduced into the diet of chickens as an alternative protein source. Lupine is characterized by a high content of crude protein (40%) and fat (17%), as well as a low level of trypsin inhibitors (0.08–0.16 g/kg). This ensures high digestibility and economic feasibility of this feed in comparison with soybean and sunflower meal. A control group (feeding with standard mixed feed with sunflower meal) and an experimental group were formed. Histological analysis was performed using hematoxylin-eosin staining, morphometry was performed using a light-optical microscope. A statistically significant increase in acinus area by 12.5% ($p < 0.02$), acinar cell height by 21.1% ($p < 0.01$), intra-valvular duct diameter by 9.7% ($p < 0.02$) and inter-valvular duct lumen area by 14.8% ($p < 0.01$) was found, indicating hypertrophy of secretory elements and optimisation of pancreatic juice evacuation. The absence of dystrophic and inflammatory changes confirms the stimulating effect of lupin in this dose on the exocrine function of the gland. Lupine helps to increase the digestibility of nutrients and the productivity of poultry. Thus, studies substantiate recommendations for the normalized inclusion of lupin in broiler diets to replace traditional protein supplements.

Keywords: white lupine, alternative protein source, broiler chickens, pancreas, histostructure

Funding: the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 25-26-00133 "Physiological assessment of protein supplements for determining the standards of needs and developing rations for broiler chickens using fistula technologies".

For citation: Karamushkina S. V., Sergeenkova N. A. Morphofunctional changes in the pancreas of broiler chickens when white lupine is introduced into the diet. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:77–83. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-4-77-83>.

Введение. Альтернативные источники протеина в рационах цыплят-бройлеров позволяют полностью или частично заменить общепринятые протеиновые добавки, в частности соевый и подсолнечный шрот.

Одним из таких альтернативных источников являются бобы люпина белого. Их состав характеризуется большим содержанием сырого протеина (40 %), сырого жира (17 %). Использование люпина в рационе кур-несушек эффективно и экономически целесообразно на всем поголовье птицы и на постоянной основе. При этом, как указано в работе [1], стоимость одной тонны опытного корма с использованием люпина при корректировке рецепта дешевле на 51 руб. (0,31 %), чем стоимость основного корма, что является очень значимым фактором в оценке эффективности производства [1].

При изучении работ, посвященных питательной ценности люпина в рационах кур-несушек и цыплят-бройлеров, обращает на себя внимание высокий процент переваримости белка и, как результат, увеличение продуктивных показателей сельскохозяйственной птицы. По данным исследований работы [2], переваримость протеина семян люпина (85,50 %) находится практически на уровне переваримости рыбной муки (86,60 %), тогда как переваримость протеина гороха составляет

80,4 %, мясной муки – 90,8 %, кукурузного глютена – 95,3 % [2]. На питательные качества корма значительное влияние оказывает наличие антипитательных веществ. Содержание ингибиторов трипсина в разных сортах люпина незначительно и колеблется в пределах 0,08–0,16 г/кг. При этом их содержание в соевом шроте значительно выше и находится на уровне 3,0–3,5 г/кг (или 2–7 ИЕ/г) [3].

Однако, как любой высокобелковый продукт, данный корм требует нормированного подхода при включении его в рационы животных. В ранее проведенных исследованиях рекомендуется вводить в рацион кур-несушек не более 5–15 % люпина белого сорта Дега, содержащего 39,6 % протеина и 5,6 % клетчатки, для замены сои и продуктов ее переработки [4].

Одним из факторов, указывающих на способность птицы переварить и усвоить питательные вещества белковых компонентов рациона, является внешнесекреторная активность поджелудочной железы. У цыплят-бройлеров, как у животных с преимущественно кишечным типом ферментации, уровень панкреатической секреции является важным показателем переваримости нутриентов корма [5]. В анализированных нами исследованиях отмечено, что наиболее информативным показателем вкусовых и питательных свойств разных рационов

является активность трипсина. Увеличение активности трипсина при смене контрольного корма на опытный, содержащий 25,0 % люпина белого, указывает на привлекательный белковый вкус люпина в данной дозе. Увеличение содержания люпина белого в корме до 50 или 75 % влечет снижение сложнорефлекторной реакции на данный компонент рациона и вызывает торможение секреторной функции пищеварительных желез [6].

При этом внешнесекреторная активность поджелудочной железы зависит от морфофункциональных характеристик ее структурных элементов, в частности ацинарного аппарата [7, 8].

Цель работы – исследовать морфофункциональные характеристики внешнесекреторного аппарата поджелудочной железы цыплят-бройлеров при введении в рацион различных доз люпина белого. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Оценить морфометрические параметры ацинарного аппарата поджелудочной железы, включая площадь ацинусов, диаметр ацинусов и высоту ацинарных клеток, с использованием гистологического анализа на основе статистической обработки данных.

2. Исследовать морфометрические и гистологические характеристики протоковой системы поджелудочной железы, включая диаметр внутридольковых протоков, толщину эпителия протоков и площадь просвета междольковых протоков, с целью установления адаптивных изменений в эвакуации панкреатического сока.

Методы исследований. Исследования проводились на кафедре физиологии, этиологии и биохимии животных Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева с июля по сентябрь 2025 г.

При этом методом пар аналогов из цыплят-бройлеров кросса «Смена-9» в возрасте 3–4 недели было сформировано две группы. Контрольная группа в качестве основного рациона получала комби-корм марки ПК-6 (соевый шрот – 15 %). Цыплята-бройлеры опытной группы также получали основной рацион, но 50 % соевого шрота заменили на люпин белый. Доля люпина в рационе составляла 7,5 %.

Забор материала проводили от эвтаназированных цыплят-бройлеров в возрасте 42 суток после завершения хронического физиологического эксперимента, с последующей фиксацией в 10-процентном нейтральном формалине в течение 24 часов. После выполнения процедуры обезвоживания и проводки через автоматический тканевый процессор Leica EM TP материал заливали в парафин и получали серийные срезы толщиной 5–7 мкм на санном микротоме.

Для комплексного изучения морфофункциональных особенностей применяли следующие методы окраски: гематоксилин-эозин для общего анализа гистоархитектоники, при котором гематоксилин выявлял ядерные структуры (ДНК/РНК) в сине-фиолетовой гамме, а эозин окрашивал цитоплазму и соединительно-тканые элементы в розово-красные тона [9].

При этом измеряли следующие параметры: площадь ацинусов, площадь внутридольковых протоков. Все измерения проводились для пяти и более образцов на группу с расчетом средних значений (M) и стандартной ошибки (m), а для оценки достоверности различий по сравнению с контрольной группой использовался t -критерий Стьюдента с уровнями значимости: $p < 0,02$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$.

Увеличение площади ацинусов трактуется как повышение секреторной активности, в то время как увеличение площади протоков означает улучшение эвакуации панкреатического сока, что в целом свидетельствует о стимулирующем влиянии изучаемого корма на морфофункциональное состояние поджелудочной железы [10].

Анализ препаратов выполняли с помощью светооптического микроскопа Hariomed IW-A1350C с последующей цифровой фотодокументацией при использовании системы ADF live 4k. Статистическую обработку морфометрических данных проводили с применением табличного процессора Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Морфометрический анализ экзокринной части поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9», проведенный в условиях введения в рацион люпина белого, выявил статистически значимые изменения структурных

параметров по сравнению с контрольной группой, получавшей стандартный комбикорм на основе соевого шрота. Результаты представлены в таблицах 1 и 2, где рассчитаны процентные различия между опытной и контрольной группами.

Анализируя данные видим, что в опытной группе наблюдается достоверное увеличение площади ацинусов на 12,5 % ($p < 0,02$), что свидетельствует о гипертрофии секреторных ациноцитов и усилении синтеза панкреатических ферментов (амилазы, липазы и протеаз), адаптированном к повышенной протеиновой нагрузке от люпина. При этом диаметр ацинусов вырос на 4,8 %, не достигая статистической значимости ($p > 0,05$), что указывает на умеренную дилатацию структур без признаков дистрофических изменений. Наиболее выраженным изменением является рост высоты ацинарных клеток на 21,1 % ($p < 0,01$), отражающий гиперплазию базофильно окрашенных зон с гранулярной эндоплазматической сетью, ответствен-

ных за транскрипцию и трансляцию проферментов. Эти морфометрические сдвиги согласуются с данными о повышенной активности трипсина при 7,5 % люпина в рационе [5], подтверждая стимулирующий эффект кормового фактора на экзокринную функцию железы без перегрузки.

Введение люпина белого привело к достоверному расширению диаметра внутридольковых протоков на 9,7 % ($p < 0,02$), что интерпретируется как адаптивная реакция на повышенный объем панкреатического секрета, обеспечивающая эффективную эвакуацию ферментов в просвет двенадцатиперстной кишки (табл. 2). Толщина эпителия протоков увеличилась на 5,3 % ($p > 0,05$) без значимых различий, что указывает на стабильность барьерной функции кубического эпителия, минимизирующего риск рефлюкса. Площадь просвета междольковых протоков выросла на 14,8 % ($p < 0,01$), отражая гипертрофию призматического эпителия и улучшение гидродинамики секрета, коррелирующее

Таблица 1 – Морфометрические показатели экзокринной части поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9»

Table 1 – Morphometric parameters of the exocrine part of the pancreas of broiler chickens of the Smena-9 cross

Показатель	Группы		Отклонение опытной от контрольной, %
	контрольная	опытная	
Площадь ацинусов, мкм^2	251,3±12,1	282,5±17,1	12,5*
Диаметр ацинусов, мкм	29,1±2,7	30,5±1,8	4,8
Высота ацинарных клеток, мкм	10,9±1,1	13,2±0,8	21,1**

* $p < 0,02$; ** $p < 0,01$; различия рассчитаны по t -критерию Стьюдента.

Таблица 2 – Морфометрические показатели протоковой системы поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9»

Table 2 – Morphometric parameters of the ductal pancreatic system of broiler chickens of the Smena-9 cross

Показатели	Группы		Отклонение опытной от контрольной, %
	контрольная	опытная	
Диаметр внутридольковых протоков, мкм	24,7±2,2	27,1±1,7	9,7*
Толщина эпителия протоков, мкм	7,5±0,4	7,9±0,2	5,3
Площадь просвета междольковых протоков, мкм^2	3 460±306	3 970±279	14,8**

* $p < 0,02$; ** $p < 0,01$; различия рассчитаны по t -критерию Стьюдента.

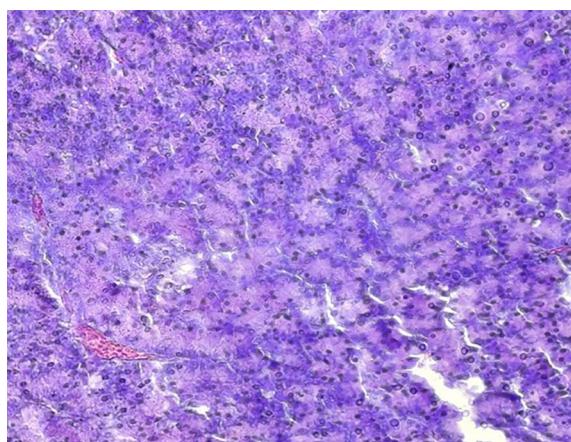
с низким содержанием ингибиторов трипсина в люпине (0,08–0,16 г/кг [3]).

Общие изменения протоковой системы подтверждают оптимизацию внешнесекреторной активности железы, способствуя повышению переваримости рациона и продуктивных показателей птицы.

Гистологический анализ препаратов, окрашенных гематоксилином-эозином, показанных на рисунке 1, подтвердил сохранность дольчатой архитектоники паренхимы: экзокринные ацинусы серозного типа с базофильно окрашенными базальными отделами и окси菲尔льными апикальными гранулами; протоки выстланы однослойным эпителием без признаков метаплазии. Строма умеренно развита с преобладанием ретикулярных волокон в внутридольковых прослойках, обеспечивающих трофику без фиброза. Вакуляризация адекватна с регулярным расположением капилляров вокруг ацинусов.

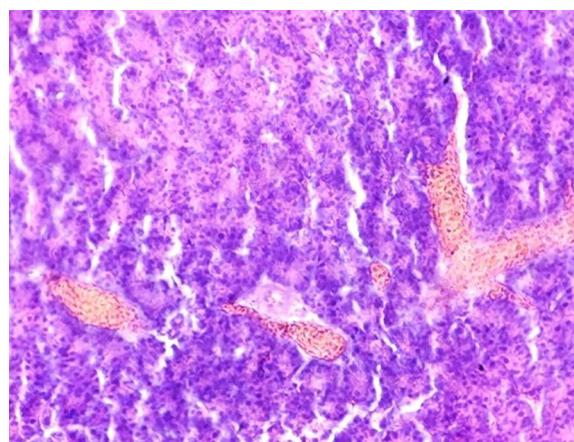
Отсутствие воспалительных или некротических изменений подчеркивает физиологический характер адаптации к люпину в дозе 7,5 %, в отличие от более высоких доз (25–75 %), вызывающих торможение секреции [5, 6].

Таким образом, морффункциональные сдвиги свидетельствуют о положительном влиянии люпина на поджелудочную железу, открывая перспективы его использования как экономически выгодной протеиновой добавки.



контроль (control)

окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 200$)
hematoxylin and eosin staining (magnification $\times 200$)



опыт (experiment)

Рисунок 1 – Гистоструктура поджелудочной железы цыплят-бройлеров
Figure 1 – Histostructure of the pancreas of broiler chickens

Заключение. 1. Морфометрический анализ ацинарного аппарата поджелудочной железы цыплят-бройлеров кросса «Смена-9» при введении 7,5 % люпина белого выявил статистически значимое увеличение площади ацинусов на 12,5 % ($p < 0,02$) и высоты ацинарных клеток на 21,1 % ($p < 0,01$), что свидетельствует о гипертрофии секреторных ациноцитов и усилении синтеза панкреатических ферментов, адаптированном к повышенной протеиновой нагрузке без признаков дистрофии.

2. Гистологический и морфометрический анализ протоковой системы поджелудочной железы показал достоверное расширение диаметра внутридольковых протоков на 9,7 % ($p < 0,02$) и площади просвета междольковых протоков на 14,8 % ($p < 0,01$), подтвердив адаптивную оптимизацию эвакуации панкреатического сока и сохранность эпителия без воспалительных или метапластических изменений, что коррелирует с низким содержанием ингибиторов трипсина в люпине.

Полученные данные обосновывают целесообразность использования люпина белого при 50-процентном замещении его в рационе (в дозе до 7,5 %) как экономически выгодной альтернативы соевым и подсолнечным добавкам и способствующему повышению продуктивности. Дальнейшие исследования высоких доз люпина (25–75 %) важны для уточнения пороговых эффектов и оптимизации рационов.

Список источников

1. Агеев Б. В., Алиева Э. Н., Бочкарева Е. В., Киселева К. В., Прытков Ю. Н. Термо-обработанный люпин в рационах кур-несушек кросса Ломанн браун-классик // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 64–68. doi: 10.28983/asj.y2021i11pp64-68. EDN CJCSED.
2. Welker T. L., Overturf K. Effect of dietary soy protein source on effluent water quality and growth performance of rainbow trout reared in a serial reuse water system // Animals. 2023. Vol. 13. No. 19. P. 3090. doi: 10.3390/ani13193090.
3. Ленкова Т. Н., Зевакова В. К. Питательная ценность и антипитательные факторы семян люпина // Птицеводство. 2012. № 1. С. 21–23. EDN NJZFLZ.
4. Андрианова Е. Н., Егоров И. А., Григорьева Е. Н., Цыгуткин А. С. Люпин в кормлении сельскохозяйственной птицы // Птицеводство. 2019. № 11–12. С. 31–36. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-31-36. EDN POPHVS.
5. Вертипрахов В. Г., Грозина А. А., Долгорукова А. М. Активность ферментов поджелудочной железы у цыплят-бройлеров на разных этапах пищеварения // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 4. С. 509–515. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.509rus. EDN WKCFV.
6. Вертипрахов В. Г., Сергеенкова Н. А., Беззубенко Д. Д., Полина С. И. Новый способ определения вкусовых и питательных свойств белого люпина в кормах цыплят-бройлеров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 4 (205). С. 61–68. doi: 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68. EDN NPWDRX.
7. Матвеев О. А., Пашинин Н. С., Торшков А. А., Тайгузин Р. Ш. Возрастная динамика морфометрических показателей поджелудочной железы у цыплят-бройлеров // Морфология. 2020. Т. 157. № 2–3. С. 135–136. EDN HRQSWT.
8. Матвеев О. А., Пашинин Н. С., Торшков А. А. Гистологическое строение поджелудочной железы цыплят-бройлеров в постинкубационном онтогенезе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 197–200. EDN NLWJGJ.
9. Гистология, эмбриология, цитология : учебник / под ред. Ю. И. Афанасьева, Н. А. Юриной. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2023. 832 с.
10. Шацких Е. В., Юшина О. В., Шацких Т. С. Перевариваемость питательных веществ рациона и морфогистологические изменения в поджелудочной железе и двенадцатиперстной кишке цыплят-бройлеров на фоне замены кормовых антибиотиков комплексным фитобиотиком // Аграрная наука. 2020. № 12. С. 7–12. doi: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-7.

References

1. Ageev B. V., Alieva E. N., Bochkareva E. V., Kiseleva K. V., Prytkov Yu. N. Heat-treated lupine in the diets of laying hens of the cross Lomann Brown-Classic. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021;11:64–68. doi: 10.28983/asj.y2021i11pp64-68. EDN CJCSED (in Russ.).
2. Welker T. L., Overturf K. Effect of dietary soy protein source on effluent water quality and growth performance of rainbow trout reared in a serial reuse water system. *Animals*, 2023;13;19: 3090. doi: 10.3390/ani13193090.
3. Lenkova T. N., Zevakova V. K. Nutritional value and anti-nutritional factors of lupine seeds. *Ptitsevodstvo*, 2012;1:21–23. EDN NJZFLZ (in Russ.).
4. Andrianova E. N., Egorov I. A., Grigorieva E. N., Tsygutkin A. S. Lupin in the feeding of farm poultry. *Ptitsevodstvo*, 2019;11–12:31–36. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-31-36. EDN POPHVS (in Russ.).
5. Vertiprakhov V. G., Grozina A. A., Dolgorukova A. M. Activity of pancreatic enzymes in broiler chickens at different stages of digestion. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2016;51;4: 509–515. doi: 10.15389/agrobiology.2016.4.509rus. EDN WKCFV (in Russ.).
6. Vertiprakhov V. G., Sergeenkova N. A., Bezzubenko D. D., Polina S. I. A new way to determine the taste and nutritional properties of white lupine in the feed of broiler chickens. *Vestnik*

Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2024;4(205):61–68. doi: 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68. EDN NPWDRX (in Russ.).

7. Matveev O. A., Pashinin N. S., Torshkov A. A., Taiguzin R. Sh. Age dynamics of morphometric parameters of the pancreas in broiler chickens. *Morfologiya*, 2020;157;2–3:135–136. EDN HRQSWT (in Russ.).

8. Matveev O. A., Pashinin N. S., Torshkov A. A. Histological structure of the pancreas of broiler chickens in postincubation ontogenesis. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020;6(86):197–200. EDN NLWJGJ (in Russ.).

9. Afanasyev Yu. I., Yurina N. A. *Histology, embryology, cytology: textbook*, Moscow, GEOTAR-Media, 2023, 832 p. (in Russ.).

10. Shatskikh E. V., Yushina O. V., Shatskikh T. S. Digestibility of nutrients in the diet and morphohistological changes in the pancreas and duodenum of broiler chickens against the background of replacing feed antibiotics with a complex phytobiotic. *Agrarnaya nauka*, 2020;12: 7–12. doi: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-7 (in Russ.).

© Карамушкина С. В., Сергеенкова Н. А., 2025

Статья поступила в редакцию 05.11.2025; одобрена после рецензирования 01.12.2025; принята к публикации 02.12.2025.

The article was submitted 05.11.2025; approved after reviewing 01.12.2025; accepted for publication 02.12.2025.

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:

Сергеенкова Надежда Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0000-0001-8769-951X, Author ID: 987206, nsergeenkova@rgau-msha.ru

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;

Nadezhda A. Sergeenkova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0000-0001-8769-951X, Author ID: 987206, nsergeenkova@rgau-msha.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 619:615(571.61)

EDN SIMRLU

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-84-92>

Эффективность использования препаратов на основе природных цеолитов Амурской области в ветеринарии и животноводстве

Татьяна Викторовна Кручинкина

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт
Амурская область, Благовещенск, Россия, dalznivilabbiohim@mail.ru

Аннотация. На территории Амурской области разведано свыше 10 цеолитовых месторождений, среди которых Вангинское и Куликовское особенно перспективны для применения в сельском хозяйстве. Отличительной чертой цеолитов Вангинского месторождения является высокое содержание одного из наиболее эффективных цеолитовых компонентов (клиноптилолит + гейланит) при одновременно низком содержании опасных для организма веществ, таких как мышьяк, ртуть, кадмий и радиоактивные элементы. В этой связи на основе цеолитов Вангинского месторождения разработаны препараты «Цесамин» и «Вангцейод». Целью исследований явилось изучение безвредности и эффективности препаратов «Цесамин» для профилактики и лечения заболеваний органов пищеварения у поросят на отъеме и «Вангцейод» для профилактики йодной недостаточности у глубокостельных коров и их потомства. Безопасность данных препаратов подтверждена отсутствием острой и хронической токсичности для лабораторных животных, что дает возможность отнести их к IV классу (малоопасным веществам). Комплексный препарат «Цесамин» (в дозе 2 г/кг массы) обладает антимикробным, антистрессовым действием. Способствует нормализации обменных процессов, повышению иммунного статуса животных, выведению токсинов из желудочно-кишечного тракта, не вызывает формирования резистентности у условно-патогенной микрофлоры. Он обладает также гепатопротективными и антиоксидантными свойствами. Использование препарата в профилактических и лечебных целях поросятам на отъеме помогает значительно снизить у них желудочно-кишечные расстройства. Скармливание йодсодержащего препарата «Вангцейод» в дозе 0,2 г/кг массы тела в течение 60 дней глубокостельным коровам способствовало нормализации обменных процессов и повышению иммунного статуса, что подтвердились достоверным увеличением фагоцитарной активности на 10,9 % и увеличением фагоцитарного числа в 1,1 раза. Показатели гуморального звена защиты у телят, рожденных от данных коров, были выше в сравнении с контролем. Это подтверждалось увеличением иммуноглобулинов на 13 %, титра нормальных антител на 68,4 %, циркулирующих иммунных комплексов в 1,6 раза и активности лизоцима на 22,6 %.

Ключевые слова: цеолиты, лечебные препараты, безвредность, поросята на отъеме, заболевания органов пищеварения, глубокостельные коровы, йодная недостаточность

Для цитирования: Кручинкина Т. В. Эффективность использования препаратов на основе природных цеолитов Амурской области в ветеринарии и животноводстве // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 84–92. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-84-92>.

Original article

Efficiency of using preparations based on natural zeolites of the Amur region in veterinary medicine and animal husbandry

Tatyana V. Kruchinkina

Far Eastern Zone Research Veterinary Institute
Amur Region, Blagoveshchensk, Russian Federation, dalznivilabbiohim@mail.ru

Abstract. More than 10 zeolite deposits have been explored in the Amur region. A distinctive feature of the zeolites of the Vanginskoe deposit is the high content of one of the most effective zeolite components (clinoptilolite + geylandite), while at the same time having a low content of substances dangerous to the body (arsenic, mercury, cadmium and radioactive elements). The drugs "Tsesamin" and "Vangtseyod" have been developed on the basis of zeolites from the Wanginsky deposit. The aim of the research was to study the harmlessness and effectiveness of these drugs for the prevention and treatment of digestive diseases in piglets at weaning and the prevention of iodine deficiency in pregnant cows and their offspring. The safety of the drugs is confirmed by the absence of acute and chronic toxicity to laboratory animals. The drugs are classified as class IV (low-risk substances). The complex preparation "Tsesamin" (at a dose of 2 g/kg of body weight) has an antimicrobial, anti-stress effect. It helps to normalize metabolic processes, increase the immune status of animals, eliminate toxins from the gastrointestinal tract, and does not cause the formation of resistance in opportunistic microflora. The drug has hepatoprotective and antioxidant properties. Using it for preventive and curative purposes in weaned piglets helps to significantly reduce their gastrointestinal disorders. Feeding of the iodine-containing drug "Vangtseyod" at a dose of 0.2 g/kg of body weight for 60 days to pregnant cows contributed to the normalization of metabolic processes and increased immune status. There was a significant increase in phagocytic activity by 10.9% and an increase in the phagocytic number by 1.1 times. The indicators of the humoral protection link in calves born from these cows were higher in comparison with the control. At the same time, there was an increase in immunoglobulins by 13%, the titer of normal antibodies by 68.4%, circulating immune complexes by 1.6 times, and lysozyme activity by 22.6%.

Keywords: zeolites, medicinal preparations, harmlessness, weaned piglets, diseases of the digestive system, pregnant cows, iodine deficiency

For citation: Kruchinkina T. V. Efficiency of using preparations based on natural zeolites of the Amur region in veterinary medicine and animal husbandry. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:84–92. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-4-84-92>.

Введение. Амурская область располагается в Азиатской части Российской Федерации и входит в состав Дальневосточного федерального округа. В целом ее вполне возможно квалифицировать как горно-равнинную область с резко-континентальным с чертами муссонного по характеру формирования климатом, преобладанием бурых лесных почв, таежной растительностью, речной густой сетью. Природа Амурской области является переходной от условий Дальнего Востока к условиям Сибири; следовательно, ее можно назвать областью контрастов природы. Из-за специфики своего рельефа и почвообразующих пород Амурская область является биогеохимической провинцией с дефицитом йода [1].

Рациональное использование местных кормовых ресурсов имеет большое значение. Цеолиты представляют собой один из доступных ресурсов. Они способствуют усилинию активности и стабильности ферментов желудочно-кишечного тракта посредством их иммобилизации. Это приводит к улучшению перевариваемости питательных веществ корма, повышению всасывания продуктов расщепле-

ния белков, углеводов и жиров слизистой оболочкой кишечника. Кроме того, цеолиты обладают способностью адсорбировать экзо- и эндотоксины у животных, что способствует их выведению из организма и снижению токсической нагрузки [2, 3].

Обладая уникальными молекулярными и ионообменными свойствами, цеолиты являются ценным источником многих макро- и микроэлементом [4–7].

Благодаря способностям кристаллического строения, они способны пролонгировать действие лекарственных препаратов и являются превосходными стабилизаторами. Также описана их способность влиять на прирост живой массы животных, обмен микро- и макроэлементов, активировать защитные механизмы организма, повышая его специфическую и неспецифическую резистентность [8].

На территории Амурской области выявлено и разведано свыше десятка цеолитовых месторождений. При этом Вангинское и Куликовское месторождения являются наиболее крупными и перспективными и представляют особую ценность для использования в сельском хозяйстве.

Существуют многочисленные разновидности цеолитов. Например, морденит и эрионит имеют волокнистую или игольчатую структуру и считаются вредными для здоровья, поэтому их применение в ветеринарии запрещено. В то же время существуют цеолиты с овальными кристаллами, такие как клиноптиолит [9, 10]. Цеолиты Вангинского месторождения обладают уникальными характеристиками по сравнению с цеолитовыми туфами других месторождений Амурской области и Дальнего Востока. Ключевая особенность данного месторождения – высокое содержание наиболее ценных компонентов (клиноптиолита и гейланитита) в сочетании с крайне низким уровнем вредных соединений, таких как ртуть, мышьяк, кадмий и радиоактивные элементы [11]. В этой связи на основе цеолитов Вангинского месторождения разработаны препараты «Цесамин» и «Вангцейод».

Целью исследований явилось изучение безвредности и эффективности препарата «Цесамин» для профилактики и лечения заболеваний органов пищеварения у поросят на отъеме и препарата «Вангцейод» для профилактики йодной недостаточности у глубокостельных коров и их потомства.

Материалы и методы исследований. Комплексный лечебно-профилактический препарат «Цесамин» разработан на основе природных цеолитов Вангинского месторождения [12]. Цеолиты измельчали в шаровой мельнице до крупности помола от 0,1 до 0,5 мм, в результате чего образовывались «частички», не травмирующие желудочно-кишечный тракт. Помимо цеолитов, в состав «Цесамина» были включены: антистрессовый препарат (аминазин), антимикробное средство (азотнокислое серебро), антиоксидант (аскорбиновая кислота), а также средство, повышающее общую резистентность организма (сукцинат натрия).

Острая и хроническая токсичность лечебно-профилактического препарата оценивалась на беспородных белых крысах. В ходе испытаний на острую токсичность препарат вводили в смеси с хлебом, начиная с дозы 1,12 г/кг, которая затем двукратно увеличивалась каждые два дня. Определение хронической токсичности включало ежедневное скармливание пре-

парата в дозе 1,5 г/кг массы тела на протяжении 60 дней.

Исследования по определению безвредности «Цесамина», его оптимальной дозы и кратности скармливания было проведено на двухмесячных поросятах крупной белой породы. В течение 15-ти дней (7 дней до и 8 дней после отъема) опытные группы поросят-аналогов получали препарат в утреннее кормление в дозах 2,0 и 3,0 г/кг массы соответственно.

Кровь из хвостовой вены брали до и после эксперимента. По состоянию минерального, белкового, углеводного и жирового обменов веществ оценивали изменения в обменных процессах поросят. Состояние белкового обмена изучали по количеству общего белка, белковых фракций, мочевины; углеводного – по количеству глюкозы; жирового – общих липидов, холестерина; минерального – по количеству общего кальция и неорганического фосфора.

По количеству циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК), уровню иммуноглобулинов и активности лизоцима сыворотки крови (ЛАСК) оценивали изменения в иммунном статусе животных.

Основу препарата «Вангцейод» составляли цеолиты Вангинского месторождения, которые нагружали калием йодидом, а также гель картофельного крахмала (в качестве стабилизатора) [13].

Острую и хроническую токсичность «Вангцейода» изучали на белых мышах и крысах; субхроническую токсичность – на телятах профилакторного возраста, которым препарат скармливали ежедневно на протяжении 30 дней.

С целью изучения влияния препарата на естественную резистентность и обмен веществ в условиях йодной недостаточности глубокостельных коров отбирали с учетом породы, возраста, живой массы, упитанности, числа отелов и уровня продуктивности. Условия содержания и рацион для всех коров были одинаковыми. В рацион животных опытной группы в течение 60 дней препарат добавляли в профилактической дозе 0,2 г/кг массы тела.

На протяжении всего опыта осуществлялось клиническое наблюдение за коровами. Контроль за телятами, полученными от подопытных коров, осуществля-

ли в первые 10 дней после рождения. Для изучения иммунного статуса, естественной резистентности и обменных процессов у глубокостельных коров образцы крови брали дважды – до начала и по завершению опыта. У новорожденных телят забор крови проводили через 10 дней после рождения.

Иммунный статус оценивали по уровню циркулирующих иммунных комплексов, концентрации иммуноглобулинов (с помощью цинк-сульфатного теста) и титру нормальных антител. В качестве показателей естественной резистентности использовали фагоцитарную активность нейтрофилов и активность лизоцима сыворотки крови. Метаболический статус устанавливали на основе состояния белкового, липидного, углеводного и минерального обменов.

Биохимический анализ сыворотки крови проводился с использованием автоматических анализаторов StatFax 1904-R и StatFax 3300 с использованием реактивов компании «Витал». Определялись следующие показатели: уровень мочевины, глюкозы, холестерина, триглицеридов, активности аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), билирубина, щелочной фосфатазы, общего кальция, неорганического фосфора, общего магния. Общий белок измеряли рефрактометрически с помощью рефрактометра РЛ-2. Определение белковых фракций осуществляли турбидиметрическим (нефелометрическим) методом.

Статистический анализ цифровых данных проводили в табличном процессоре Microsoft Excel. Достоверность данных определяли с помощью критерия Стьюдента (*t*). Статистически значимыми считались результаты при *p* < 0,05, а также при более высоких уровнях значимости.

Результаты исследований и их обсуждение. Продуктивность и воспроизводительная способность свиней в большой степени зависят от роста и развития животных на ранних стадиях жизни. Слабые, больные или с низкой живой массой поросята практически не могут стать высокопродуктивным поголовьем. В этой связи важнейшая задача отрасли – получение и выращивание здоровых поросят.

Наибольший экономический ущерб свиноводческим комплексам наносят раз-

личного рода заболевания неинфекционного характера; на первом месте при этом находятся заболевания желудочно-кишечного тракта. Уровень заболеваемости среди поросят в период отъема достигает 30–60 %, при этом значительные потери наблюдаются в возрасте 2–4 месяцев. Основными факторами, способствующими развитию заболеваний, являются: метаболические нарушения у свиноматок, смена рациона у поросят-отъемышей, недоброкачественные корма, а также наличие в них токсичных веществ, таких как микотоксины и тяжелые металлы. Переболевшие животные отстают в росте и развитии, у них снижается воспроизводительная способность и продуктивность.

В ходе определения безвредности препарата «Цесамин» для белых крыс установлено, что препарат острой токсичностью не обладает. Гибель животных отсутствовала даже при приеме максимальной дозы препарата, что сделало невозможным определение среднелетальной дозы (LD50).

Введение препарата в рацион крыс в течение 60-ти дней не оказывало отрицательного влияния на биохимические и гематологические показатели животных.

Интенсивность процессов перекисного окисления липидов у крыс контрольной группы была в 1,25 раза выше, чем у крыс опытной группы, что подтверждает антиоксидантные свойства препарата. Кроме того, снижение активности ферментов переаминирования у опытных крыс относительно контрольных свидетельствует о наличии у препарата гепатопротективных свойств. Введение данного препарата в дозе 1,5 г/кг массы в течение 60 дней способствовало приросту живой массы крыс опытной группы на 27,4 г (против 14,7 г на контроле).

Разработанный на основе природных цеолитов препарат «Цесамин» безопасен при длительном применении, обладает выраженным антиоксидантным и гепатопротективным действием. Его применение способствует значительному (в 1,8 раза) увеличению среднесуточного прироста массы тела крыс по сравнению с контролем.

При определении безвредности «Цесамина» для поросят было установлено, что введение в рацион препарата в дозе 2,0

и 3,0 г/кг массы оказывало положительное влияние на обменные процессы и иммунный статус животных. Однако наиболее выраженный эффект наблюдался в группе, где животные получали препарат в дозе 2,0 г/кг живой массы. Поросята обеих опытных групп активно принимали корм и воду, на внешние раздражители реагировали адекватно.

Введение «Цесамина» в дозе, составляющей 2,0 г/кг массы, способствовало улучшению пищеварения; консистенция каловых масс была густой, сформированной. У поросят опытной группы, получавших препарат в дозе 3,0 г/кг массы, расстройства пищеварения (каловые массы были кашицеобразные) установлены у 14 % животных на 4–5 сутки после отъема от свиноматок. В контрольной группе диарейный синдром был зарегистрирован у 84 % животных, поросят с расстройствами пищеварения лечили с использованием фармазина.

Изучая изменения в обменных процессах и иммунном статусе поросят при скармливании препарата «Цесамин», установлено, что для поросят на отъеме доза 2,0 г/кг живой массы является оптимальной и безвредной.

В опытной группе поросят при анализе гематологических параметров крови относительно контроля было установлено повышение уровня гемоглобина на 13,2 % и уменьшение числа лейкоцитов на 12 %. Данные изменения соответствуют физиологической норме и указывают на восстановление нормального функционирования системы кроветворения.

У поросят, получавших препарат в течение 15 дней, наблюдалась нормализация обменных процессов.

В опытной группе было отмечено достоверное ($P < 0,05$) повышение в сыворотке крови содержания общего белка (на 5,3 г/л), в то время как в контрольной группе соответствующий показатель снизился на 2,8 г/л. Применение препарата в рекомендованной дозе привело к повышению содержания альбуминов у поросят на 8,7 %; альбумин-глобулиновый коэффициент увеличился в 1,2 раза по сравнению с показателями в контрольной группе. Повышение уровня альбуминов в сыворотке крови указывало на усиление белковосинтетической функции печени.

Это подтверждалось снижением активности аминотрансфераз у поросят в опытной группе по сравнению с группой поросят контроля. На момент завершения эксперимента в опытной группе отмечалось снижение уровня мочевины в сыворотке крови на 3,66 мМ/л и повышение содержания глюкозы по сравнению с исходными значениями. В ходе исследования во всех экспериментальных группах было зафиксировано увеличение уровня холестерина. При введении в рацион поросят «Цесамина» в дозе 2,0 г/кг массы в течение 15 дней наблюдалось снижение концентрации холестерина в 2,9 раза относительно контрольной группы. К завершению эксперимента содержание общих липидов в опытной группе практически не изменилось и оставалось в пределах физиологических значений.

Анализ сыворотки крови поросят из опытной группы показал, что уровень общего кальция и неорганического фосфора соответствовал физиологической норме, что указывает на нормализацию минерального обмена.

Применение «Цесамина» способствует снижению оксидативного стресса. Об этом свидетельствовало уменьшение в сыворотке крови поросят уровня малонового диальдегида в 1,3 раза и окислительно модифицированных белков в 1,9 раза.

В группе поросят, которым добавляли в рацион комплексный препарат в рекомендуемой дозе, наблюдалось повышение уровня циркулирующих иммунных комплексов на 54 % относительно контрольной группы. Это свидетельствует об усилении иммунного статуса, что подтверждается также высоким содержанием иммуноглобулинов.

Таким образом, использование препарата «Цесамин» в дозировке 2,0 г/кг массы для поросят в период отъема в течение 15 дней привело к нормализации метаболических процессов. «Цесамин» проявляет гепатопротективные свойства, что подтверждается повышением уровня альбуминов и снижением активности аминотрансфераз в сыворотке крови животных. Уменьшение уровня малонового диальдегида (МДА) и окислительно модифицированных белков (ОМБ) свидетельствует об антиоксидантных свойствах препарата. Повышение уровня циркули-

рующих иммунных комплексов и иммуноглобулинов указывает на положительное влияние препарата на иммунный статус животных.

При оценке эффективности препарата «Цесамин» для профилактики и лечения заболеваний органов пищеварения у поросят учитывали количество заболевших и павших поросят. Перед началом эксперимента у поросят из опытной и контрольной групп были зарегистрированы острые расстройства пищеварения, проявляющиеся диареей, вялостью, умеренной жаждой и снижением аппетита при субфебрильной или нормальной температуре тела. Среди 128 поросят, получавших препарат на протяжении 15 дней, у 36 животных (28,1 %) было зафиксировано острое расстройство пищеварительной системы. Из числа заболевших поросят один пал (2,78 %). Таким образом, лечебная эффективность препарата составила 97,22 %, а профилактическая – 71,9 %.

В контрольной группе (130 поросят) было выявлено 68 особей с острыми расстройствами органов пищеварения (52,3 % от общего числа). Из заболевших животных погибло 4 поросенка, что соответствует 5,9 % от общего числа заболевших.

В Амурской области, относящейся к эндемической зоне, основным этиологическим фактором йодной недостаточности является дефицит йода в окружающей среде, а, следовательно, в рационе животных.

Исследованиями установлено, что йодсодержащий препарат «Вангцейод», разработанный на основе природных цеолитов Вангинского месторождения, безопасен, так как не вызывает острой и хронической токсичности у лабораторных животных (белых мышей, крыс). В ходе двухмесячного эксперимента, где мышам вводили препарат в дозах 1,0 и 2,0 г/кг массы тела, не было обнаружено признаков хронической интоксикации. Это подтверждено 100-процентной выживаемостью мышей в опытных группах, что было значительно выше показателя выживаемости в контрольной группе (57 %).

Разработанный йодсодержащий препарат «Вангцейод» не обладает субхронической токсичностью для телят. При скармливании препарата молодняку крупного рогатого скота в зоне йодной недостаточности на протяжении 30 дней

установлено, что препарат стимулирует деятельность органов кроветворения, способствует повышению естественной резистентности, нормализации белкового обмена; это подтверждается оптимальным соотношением белковых фракций, увеличением фагоцитарной активности (на 11,2 %), количества циркулирующих иммунных комплексов (на 91 %), иммуноглобулинов (на 16,5 %), титра нормальных антител в сыворотке крови (в 5 раз) и полной сохранностью животных. Препарат обладает антиоксидантным действием. Таким образом, профилактический йодсодержащий препарат отнесен к IV классу малоопасных веществ.

В Амурской области у крупного рогатого скота, несмотря на отсутствие выраженного зоба, наблюдаются характерные клинические признаки йодной недостаточности. К ним относятся взъерошенный, тусклый волосяной покров с участками алопеции; волосы в лобной и затылочной областях разрастаются и формируют своеобразный курчавый чуб и гриву. Кожа животных неэластичная, сухая, грубая, с выраженным складками на шее. Также выявляли деминерализацию последних хвостовых позвонков, шаткость зубов, неправильное отрастание копытцевого рога,abortы. Телята от таких коров рождались слабыми, с низкой массой тела. Эти последствия обусловлены тем, что внутриутробный период является критически важной стадией индивидуального развития плода, напрямую зависящей от состояния здоровья и уровня обмена веществ у матери.

Исходя из этого, была разработана и определена наиболее эффективная доза препарата «Вангцейод», предназначенного для профилактики йодной недостаточности у глубокостельных коров.

Применение йодсодержащего препарата глубокостельным коровам в рекомендованной дозе 0,2 г/кг массы тела на протяжении 60 дней привело к нормализации обменных процессов и повышению иммунного статуса. Об этом свидетельствует увеличение фагоцитарной активности (на 10,9 %), фагоцитарного числа (в 1,1 раза), а также увеличение активности лизоцима в 3,2 раза ($P < 0,001$), иммуноглобулинов в 1,2 раза ($P < 0,05$) по сравнению с исходным состоянием.

Скармливание препарата глубокостельным коровам оказало стимулирующее воздействие на иммунитет их телят. Было установлено улучшение клеточного иммунного ответа, проявляющееся в усилении фагоцитарной активности на 24,4 % ($P < 0,05$) по сравнению с контрольной группой. Одновременно у телят из опытной группы значительно повысились показатели гуморального звена защиты по сравнению с контролем: уровень иммуноглобулинов увеличился на 13,9 % ($P < 0,001$), циркулирующих иммунных комплексов – в 1,6 раза, титр нормальных антител – на 68,4 %, активность лизоцима – на 22,6 %.

Использование препарата «Вангцейод» в зоне йодной недостаточности способствует нормализации обменных процессов и усиливает иммунобиохимическую защиту организма животных, что позволяет повысить продуктивность коров и сохранность новорожденных телят.

Заключение. Разработанные на основе природных цеолитов Вангинского месторождения комплексный лечебно-профилактический препарат «Цесамин» безвреден для поросят на отъеме; профилактический йодсодержащий препарат «Вангцейод» не обладает субхронической токсичностью для телят. Препараты не вызывают острую и хроническую токсичность у лабораторных животных.

Вследствие этого они отнесены к IV классу (малоопасным веществам).

Комплексный лечебно-профилактический препарат «Цесамин» при применении в дозе 2 г/кг массы тела оказывает антистрессовое и антимикробное действие, способствует выведению токсинов, нормализует обменные процессы и повышает иммунный статус животных. Препарат обладает гепатопротективными и антиоксидантными свойствами. Использование «Цесамина» для поросят в период отъема от свиноматок позволяет снизить у них желудочно-кишечные расстройства в 1,9 раза и повысить сохранность до 99 %. Лечебная эффективность препарата составила 97,22 %, профилактическая – 71,9 %.

Скармливание йодсодержащего препарата «Вангцейод» в дозе 0,2 г/кг массы тела в течение 60 дней глубокостельным коровам способствовало нормализации обменных процессов и повышению иммунного статуса, что подтвердилось достоверным увеличением фагоцитарной активности на 10,9 % и увеличением фагоцитарного числа в 1,1 раза. Показатели гуморального звена защиты у телят от полученных от этих коров были выше контроля. Это подтверждалось увеличением содержания иммуноглобулинов на 13 %, титра нормальных антител на 68,4 %, активности лизоцима на 22,6 % и циркулирующих иммунных комплексов в 1,6 раза.

Список источников

1. Залюбовская Е. Ю. Влияние скармливания нормируемых микроэлементов в минеральной и органической формах на рост, развитие и обмен веществ молодняка крупного рогатого скота // Ветеринария сегодня. 2018. № 1 (24). С. 26–28. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2018-1-26-28>. EDN YWMMFP.
2. Кичеева А. Г., Терещенко В. А. Перспективы использования природных глинистых минералов в животноводстве (обзор) // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 88–93. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp88-93. EDN ANJCLR.
3. Feneşan D. M. E., Tamas-Krumpe O. M., Todoran D., Necula D., Ognean L. Current aspects regarding the use of zeolites in the prophylactic-therapeutic management of gastrointestinal disorders in poultry, swine, ruminants and dogs // Scientific Papers. Series D. Animal Science. 2022. Vol. 65. No. 2. P. 92–96.
4. Алиев А. А., Шапиев Б. И., Алиев Н. А., Камбулатова З. Ш. Эколого-токсикологические аспекты использования природных цеолитов геллинского месторождения Республики Дагестан в медицине и ветеринарии // Проблемы экологической медицины : материалы X республикан. науч.-практ. конф. Махачкала : Дагестанский государственный медицинский университет, 2021. С. 163–170. EDN BQDSVO.

5. Григорьев М. Ф., Черноградская Н. М., Сивцева В. И., Григорьева А. И. Эффективность минеральной кормовой добавки при выращивании молодняка крупного рогатого скота // Вестник Арктического государственного агротехнологического университета. 2021. № 2 (2). С. 15–20. EDN IOJYIM.
6. Жоров Г. А., Захарова Л. Л., Обрывин В. Н. О нормировании содержания экотоксикантов в кормах, кормовых добавках и фармакологических средствах ветеринарного назначения // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2022. № 3 (43). С. 388–394. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202203016. EDN PNSOZN.
7. Oggiano G., Pokimica B., Popović T., Takić M. Beneficial properties of zeolite // Italian Journal of Food Science. 2023. Vol. 35. No. 1. P. 72–78. doi: 10.15586/ijfs.v35i1.2325.
8. Маликова М. Г., Шагалиев Ф. М. Применение премиксов на основе цеолита из местных ресурсов в рационах коров // Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ : материалы междунар. науч.-практ. конф. Лесники : Курганская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. С. 829–835. EDN TEZTUH.
9. Гагаро М. А., Никулина Е. Г., Соловьев В. Г., Калашникова С. П., Никонова Л. Г. Биологические эффекты и перспективы использования природных цеолитов // Научный медицинский вестник Югры. 2022. Т. 31. № 1. С. 4–12. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-4-12. EDN RDFOCV.
10. Ariton A. M., Neculai Văleanu A. S., Sănduleanu C. Applications of clinoptilolite in veterinary medicine and animal husbandry // Scientific Papers Journal. 2022. Vol. 65. No. 4. P. 36–40.
11. Чекалова Т. А. Природные цеолиты Амурской области // День науки : материалы XXXII науч. конф. Благовещенск : Амурский государственный университет, 2023. С. 32–33. EDN QYMEXL.
12. Патент № 2665617 Российская Федерация. Комплексный препарат «Цесамин» для профилактики желудочно-кишечных заболеваний у поросят : № 2017125389 : заявл. 14.07.2014 : опубл. 03.09.2018 / Гаврилов Ю. А., Диких Н. Ю., Кручинкина Т. В. Бюл. № 25. 7 с. EDN QDWHLL.
13. Патент № 2614069 Российская Федерация. Йодсодержащий препарат «Вангцейод» : № 2015153653 : заявл. 14.12.2015 : опубл. 22.03.2017 / Кручинкина Т. В., Гаврилов Ю. А. Бюл. № 9. 5 с. EDN YXEKAF.

References

1. Zalyubovskaya E. Yu. The effect of feeding standardized microelements in mineral and organic forms on the growth, development and metabolism of young cattle. *Veterinariya segodnya*, 2018;1(24):26–28. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2018-1-26-28>. EDN YWMMFP (in Russ.).
2. Kicheeva A. G., Tereshchenko V. A. Prospects for the use of natural clay minerals in animal husbandry (review). *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021;12:88–93. doi: 10.28983/asj.y2021i12pp88-93. EDN ANJCLR (in Russ.).
3. Feneşan D. M. E., Tamas-Krumpe O. M., Todoran D., Necula D., Ognean L. Current aspects regarding the use of zeolites in the prophylactic-therapeutic management of gastrointestinal disorders in poultry, swine, ruminants and dogs. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 2022;65;2:92–96.
4. Aliev A. A., Shapiev B. I., Aliev N. A., Kambulatova Z. Sh. Ecological and toxicological aspects of the use of natural zeolites from the Gellinsky deposit of the Republic of Dagestan in medicine and veterinary medicine. Proceedings from Problems of environmental medicine: X Respublikanskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 163–170), Makhachkala, Dagestanskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet, 2021. EDN BQDSVO (in Russ.).
5. Grigoriev M. F., Chernogradskaya N. M., Sivtseva V. I., Grigorieva A. I. Efficiency of mineral feed additives in growing young cattle. *Vestnik Arkhitekhnologicheskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta*, 2021;2(2):15–20. EDN IOJYIM (in Russ.).

6. Zhorov G. A., Zakharova L. L., Obryvin V. N. On the standardization of the content of ecotoxicants in feed, feed additives and veterinary pharmacological agents. *Problemy veterinarnoi sanitarii, gigiény i ekologii*, 2022;3(43):388–394. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202203016. EDN PNSOZN (in Russ.).
7. Oggiano G., Pokimica B., Popović T., Takić M. Beneficial properties of zeolite. *Italian Journal of Food Science*, 2023;35;1:72–78. doi: 10.15586/ijfs.v35i1.2325.
8. Malikova M. G., Shagaliev F. M. Application of zeolite-based premixes from local resources in cow diets. Proceedings from Scientific support for the innovative development of the agro-industrial complex of the regions of the Russian Federation: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 829–835), Lesnikovo, Kurganskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya, 2018. EDN TEZTUH (in Russ.).
9. Gagaro M. A., Nikulina E. G., Solovyov V. G., Kalashnikova S. P., Nikonova L. G. Biological effects and prospects for the use of natural zeolites. *Nauchnyi meditsinskii vestnik Yugry*, 2022;31;1:4–12. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-4-12. EDN RDFOCV (in Russ.).
10. Ariton A. M., Neculai Văleanu A. S., Sănduleanu C. Applications of clinoptilolite in veterinary medicine and animal husbandry. *Scientific Papers Journal*, 2022;65;4:36–40.
11. Chekalova T. A. Natural zeolites of the Amur region. Proceedings from Science Day: *XXXII Nauchnaya konferentsiya*. (PP. 32–33), Blagoveshchensk, Amurskii gosudarstvennyi universitet, 2023. EDN: QYMEXL (in Russ.).
12. Gavrilov Yu. A., Dikikh N. Yu., Kruchinkina T. V. Complex preparation "Tsesamin" for the prevention of gastrointestinal diseases in piglets. *Patent RF, No. 2665617 patents.google.com* 2018 Retrieved from <https://patents.google.com/patent/RU2665617C1/ru> (Accessed 10 July 2025) EDN QDWHL (in Russ.).
13. Kruchinkina T. V., Gavrilov Yu. A. Iodine-containing drug "Vangtseiod". *Patent RF, No. 2614069 patenton.ru* 2017 Retrieved from <https://patenton.ru/patent/RU2614069C1> (Accessed 10 July 2025) EDN YXEKAF (in Russ.).

© Кручинкина Т. В., 2025

Статья поступила в редакцию 11.10.2025; одобрена после рецензирования 26.11.2025; принята к публикации 01.12.2025.

The article was submitted 11.10.2025; approved after reviewing 26.11.2025; accepted for publication 01.12.2025.

Информация об авторе

Кручинкина Татьяна Викторовна, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6529-4340>, Authors ID: 991900, dalznivilabbiohim@mail.ru

Information about the author

Tatyana V. Kruchinkina, Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Far East Zone Research Veterinary Institute, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6529-4340>, Authors ID: 991900, dalznivilabbiohim@mail.ru

Научная статья

УДК 636.1

EDN UYCTEW

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-93-100>

Влияние способа содержания на элементный статус кобыл якутской породы

Василена Васильевна Слепцова¹, Нарыйа Иннокентьевна Павлова²

^{1,2} Академия наук Республики Саха (Якутия), Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ vvsleptsova1990@mail.ru, ² naryya.pavlova@mail.ru

Аннотация. Проблема мониторинга элементного статуса организма табунных лошадей при их содержании в экстремальных условиях Якутии является одной из основных, требующих более детального изучения. Шерсть животных служит относительно стабильным индикатором, поскольку ее минеральный состав отражает накопленные уровни макро- и микроэлементов, постепенно аккумулирующихся в ее структуре. В настоящей статье проведены исследования элементного статуса якутских лошадей по пробам их шерсти. Были сформированы две группы животных, отличавшиеся условиями содержания: в первой группе кобылы содержались традиционным способом без доения; вторая группа состояла из дойных кобыл (доение проводилось в летний и зимний период). Более существенные различия наблюдались по показателям макроэлементов, таких как калий, натрий и магний. Так, достоверные отличия выявлены по содержанию магния – в 1,44 раза ($P < 0,01$), калия – в 1,45 раза ($P < 0,05$), натрия – в 1,6 раза ($P < 0,01$); недостоверно – кальция (в пользу животных первой группы, содержащихся при традиционном способе табунного коневодства, без доения). По содержанию эссенциальных микроэлементов существенных различий между исследуемыми группами не установлено; по концентрации токсичных элементов в шерсти изучаемых групп показатели практически находились на одном уровне. В дальнейшем предлагается провести более масштабные исследования, связанные с изучением механизмов и процессов накопления минералов в шерсти якутских лошадей в зависимости от поло-возрастных и других факторов, что позволит выявить референтные интервалы содержания минеральных элементов в волосах лошадей и на этой основе проводить оценку и мониторинг состояния табунных лошадей в зимний период по элементному составу шерсти.

Ключевые слова: якутская лошадь, табунное коневодство, условия содержания лошадей, элементный статус, пробы шерсти

Финансирование: исследование проведено в рамках государственного задания Министерства образования и науки Республики Саха (Якутия) на 2025–2027 гг. по научно-исследовательской работе «Разработка методов репродуктивных технологий и новых подходов в области агробиотехнологий с перспективой их прикладного использования».

Для цитирования: Слепцова В. В., Павлова Н. И. Влияние способа содержания на элементный статус кобыл якутской породы // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 93–100. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-93-100>.

Original article

The influence of the method of animal husbandry on the elemental status of Yakut mares

Vasilena V. Sleptsova¹, Narya I. Pavlova²

^{1,2} Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia)
Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ vvsleptsova1990@mail.ru, ² naryya.pavlova@mail.ru

Abstract. Monitoring the elemental status of herd horses during their maintenance in the extreme conditions of Yakutia is one of the main problems requiring a more detailed study. The mineral composition of wool reflects the accumulated levels of macro- and microelements that gradually accumulate in its structure. The purpose of the research was to analyze the elemental status of Yakut horses based on their hair samples. We formed two groups of animals that differed in their conditions of detention: in the first group, the mares were kept in the traditional way without milking; the second group consisted of milking mares. More significant differences were observed in terms of macronutrients. Thus, significant differences were found in the content of magnesium – 1.44 times ($P < 0.01$), potassium – 1.45 times ($P < 0.05$), sodium – 1.6 times ($P < 0.01$); unreliable differences are characteristic of calcium (in favor of animals of the first group). There were no significant differences in the content of essential trace elements between the studied groups; in terms of the concentration of toxic elements in the wool of the studied groups, the indicators were practically at the same level. In the future, it is proposed to conduct more extensive research on the mechanisms and processes of mineral accumulation in the coat of Yakut horses, depending on gender, age and other factors. This will make it possible to identify the reference ranges of the content of mineral elements and, on this basis, to assess and monitor the condition of these animals in winter by the elemental composition of wool.

Keywords: Yakut horse, herd horse breeding, conditions of keeping horses, elemental status, wool samples

Funding: the study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Republic of Sakha (Yakutia) for 2025–2027 on the research work "Development of methods of reproductive technologies and new approaches in the field of agrobiotechnology with the prospect of their applied use".

For citation: Sleptsova V. V., Pavlova N. I. The influence of the method of animal husbandry on the elemental status of Yakut mares. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:93–100. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-93-100>.

Введение. Якутская лошадь сформировалась в уникальных климатических условиях Крайнего Севера под воздействием многовекового естественного и искусственного отбора. Одним из важнейших адаптивных свойств этих животных является способность эффективно экономить энергетические ресурсы при низких температурах окружающей среды, выражающаяся в возможности добывать пищу из-под снега (тёбеневка) [1].

В зимний период в условиях Якутии животные подвергаются природному стрессу, включающему целый комплекс негативных факторов, таких как короткий световой день при экстремально низких температурах (ниже минус 40 °C), сильные ветра, глубокий снежный покров, затрудняющий доступ к подножному корму [2, 3]. При длительном пребывании в таких неблагоприятных условиях снижение массы тела у лошадей неизбежно. Энергетическая недостаточность компенсируется за счет мобилизации собственных ресурсов организма – распада жировых и белковых запасов. Одновременно ограниченное потребление корма

приводит к недостаточному поступлению макро- и микроэлементов, дефицит которых оказывает существенное влияние на нормальное функционирование всех физиологических систем животного [4, 5].

Недостаточность макро- и микроэлементов негативно сказывается на общей жизнеспособности животных, вызывая проблемы репродуктивной системы, нарушения иммунной защиты, болезни костей и ухудшение общего состояния лошадей. Поэтому контроль над уровнем потребления и усвоения элементов имеет большое значение для сохранения здоровья табунных лошадей, в частности кобыл и молодняка [6–8].

Для мониторинга и поддержания обеспеченности животных минеральными элементами требуется применение новых методов контроля. В этой связи в последнее время все большее внимание привлекают исследования аккумулирующих сред организма, таких как эпителий, роговой слой кожи, волосы, костная ткань. В отличие от буферных систем (кровь, моча, лимфа) они отображают длительное поступление (в течение месяца и бо-

лее) микроэлементов в организм. При этом волосы животных служат наиболее информативным биоматериалом, воссоздающим элементный статус организма в целом, так как они устойчивы к внешним воздействиям и обладают способностью сохранять поглощенные вещества.

Преимущества использования волоса для оценки элементного статуса сельскохозяйственных животных – безопасность и легкость отбора проб (в том числе при проведении массового скрининга), которые просто транспортировать и длительно хранить без применения специального оборудования. Кроме того, анализ волос (шерсти) является более информативным и атравматичным биосубстратом, наиболее точно показывающим реальный баланс макро- и микроэлементов в организме. Это связано с тем, что минеральные элементы в них накапливаются месяцами и годами, в результате чего концентрация макро- и микроэлементов во много раз выше, чем в других субстратах, таких как кровь, молоко и т. д. [9, 10].

Элементный статус животных является одним из важных факторов, тесно связанных с воспроизводительной функцией животного [11]. Согласно многим литературным источникам, воспроизводство животных тесно связано с обменом макроэлементов, эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, а также токсичных элементов.

Так, например, медь является эссенциальным элементом для клеток и играет важную роль в метаболизме железа; марганец играет важную роль в жировом и углеводном обмене; никель необходим для регулировки содержания кобальта и меди; бор играет регуляторную роль в формировании костной ткани. Проведенные в последнее время исследования по литию выявили значительные стороны его влияния на продуктивность и репродукторные качества. Кремний играет важную роль в поддержании нормального состояния дистальной части конечностей. Недостаток ванадия в организме может привести к нарушениям функций таких жизненно важных ферментных систем, как АТФ-азы, протеинкиназы, рибонуклеазы и фосфатазы, регуляции функций щитовидной железы, метаболизма глюкозы и липидов [12, 13].

Ранее проведенными исследованиями с применением способов оценки элементного статуса лошадей заводских и локальных пород по волосам установлено, что табунные лошади Якутии испытывали дефицит по 11 химическим элементам в сравнении со средними показателями лошадей из других регионов. При этом авторы подчеркивали, что при табунной технологии поступление химических элементов в организм животных осуществляется в соотношении, которое характерно для конкретной биогеохимической провинции [14–16].

Таким образом, профиль минерального статуса шерсти лошадей может быть использован в качестве мониторингового инструмента для оценки состояния организма лошадей в самый сложный зимний период. В этой связи изучение обеспечения минеральными элементами шерсти якутских табунных лошадей, особенно в зимний период, приобретает важную теоретическую значимость и практическую целесообразность.

Целью исследований выступает оценка особенностей элементного статуса организма якутских табунных лошадей в зимний период при различных способах содержания в условиях Якутии.

Материалы и методы исследований. Были сформированы две группы лошадей по принципу аналогов. Первую группу составили лошади, содержащиеся при применении традиционного способа содержания, принятого в коневодстве республики (8 особей); вторую – дойные кобылы, содержащиеся в тех же условиях, при этом доение проводилось в летний и зимний периоды (8 особей).

Проведена зоотехническая оценка лошадей с применением общепринятых методик табунного коневодства. Средняя живая масса животных составила $413,6 \pm 19,5$ кг, возраст 8–9 лет. Животные, используемые в эксперименте, в период зимнего содержания получали сходный рацион, состоявший из кормов, произведенных на территории региона.

Элементный статус животных исследовали по пробам шерсти (волос). Взятие образцов шерсти провели в один период времени с учетом периода формирования волос, что достигалось путем срезания шерсти у самого корня – в январе, тогда

как период формирования волос проходил в ноябре. Совокупная масса отбираемых проб волос составляла не менее 1 мг.

Анализ элементного состава биосубстратов провели на базе лицензированной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва) по 25 химическим элементам (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Sr, V, Zn).

Определение состава элементов в исследуемых пробах шерсти было выполнено методами масс-спектрометрии (МСИСП) и атомно-эмиссионной спектрометрии (АЭС-ИСП) на оборудовании АЭС Optima 2000 DV и Nexion 300 D (Perkin Elmer, США).

Статистическую обработку проводили в программе Microsoft Excel. При математической обработке определяли средние величины (M), их стандартные ошибки ($\pm SEM$) и коэффициенты корреляции (Cv). Достоверность различий оценивали по t -критерию Стьюдента (при уровнях значимости $p \leq 0,05$ и $p < 0,01$).

Результаты исследований. По результатам исследований установлена обеспеченность животных минеральными элементами в зимний тебеневочный период, что позволило выявить отклонения по отдельным химическим элементам.

Динамика содержания минеральных элементов в шерсти лошадей в зимний период приводится в таблицах. В таблице 1 показаны результаты по содержанию макроэлементов в ноябре (в начале зимнего периода, после осеннего нагула).

В ходе проведенных исследований и анализа полученных результатов установ-

лено, что показатели концентрации химических элементов в шерсти табунных лошадей исследуемых групп отличались. При этом показатели кобыл первой группы по всем макроэлементам были выше, чем у животных второй группы.

Так, достоверные отличия выявлены по содержанию магния – в 1,44 раза ($P < 0,01$); калия – в 1,45 раза ($P < 0,05$); натрия – в 1,6 раза ($P < 0,01$). Недостоверные отличия характерны для кальция. Выявленные различия имели место в пользу животных первой группы, содержащихся при традиционном способе табунного коневодства, без доения (табл. 1).

Исходя из полученных данных, можно предположить, что в организме дойных кобыл в изучаемый период, когда идет лактация, метаболизм более интенсивный, чем в организме лошадей первой группы, что и является причиной достоверно меньшего отложения данных элементов в волосах. Известно, что магний, калий, натрий и кальций как элементы, дающие катионы, являются активными регуляторами транспортировки веществ, участвуют в метаболизме как специфические кофакторы ферментативных реакций [17]. Содержание фосфора в волосах оказалось на одном уровне.

Наряду с макроэлементами, в метаболизме исключительно важную роль играют эссенциальные (жизненно необходимые) микроэлементы. По их содержанию существенных различий между исследуемыми группами не установлено (табл. 2). Однако, по содержанию марганца показатель дойных кобыл в 1,5 раза достоверно превышал аналогичный показатель лошадей первой группы ($P < 0,01$) и по

Таблица 1 – Содержание макроэлементов в шерсти лошадей якутской породы ($M \pm m$)
Table 1 – The content of macronutrients in the coat of horses of the Yakut breed ($M \pm m$)

В мкг/м (in mcg/m)

Элемент	Первая группа (8 особей) (традиционная)	Вторая группа (8 особей) (дойные)
Калий	495,14 \pm 28,6	340,00 \pm 45,9*
Натрий	374,29 \pm 22,1	231,25 \pm 27,3**
Кальций	630,33 \pm 80,4	491,25 \pm 36,0
Магний	254,00 \pm 20,6	176,75 \pm 3,7**
Фосфор	306,86 \pm 20,2	308,40 \pm 21,9

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

меди на 19 % (соответственно $4,675 \pm 0,610$ и $4,230 \pm 0,312$ мкг/м).

Возможно, это связано с повышением уровня окислительных процессов у дойных животных, где марганец и медь участвуют в окислительно-восстановительной системе организма. Также известно, что данные элементы являются активаторами в метаболизме организма [6, 13].

Таблица 2 – Содержание эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов в шерсти лошадей якутской породы ($M \pm m$)

Table 2 – The content of essential and conditionally essential trace elements in the coat of horses of the Yakut breed ($M \pm m$)

В мкг/м (in mcg/m)

Элемент	Первая группа (8 особей) (традиционная)	Вторая группа (8 особей) (дойные)
<i>Эссенциальные</i>		
Кобальт	$0,039 \pm 0,008$	$0,027 \pm 0,007$
Хром	$0,191 \pm 0,020$	$0,132 \pm 0,011$
Медь	$4,230 \pm 0,312$	$4,675 \pm 0,610$
Железо	$93,41 \pm 4,94$	$90,88 \pm 27,490$
Йод	$0,196 \pm 0,026$	$0,165 \pm 0,030$
Марганец	$4,656 \pm 0,163$	$7,124 \pm 0,635^*$
Цинк	$78,23 \pm 3,26$	$77,70 \pm 4,420$
Селен	$0,107 \pm 0,014$	$0,067 \pm 0,021$
<i>Условно-эссенциальные</i>		
Бор	$0,390 \pm 0,043$	$0,359 \pm 0,127$
Литий	$0,056 \pm 0,008$	$0,063 \pm 0,011^*$
Никель	$0,160 \pm 0,022$	$0,170 \pm 0,030$
Кремний	$32,543 \pm 5,804$	$27,55 \pm 4,076$
Ванадий	$0,172 \pm 0,032^*$	$0,102 \pm 0,030$

* $p < 0,05$.

Таблица 3 – Содержание токсичных элементов в шерсти лошадей якутской породы ($M \pm m$)

Table 3 – The content of toxic elements in the coat of horses of the Yakut breed ($M \pm m$)

В мкг/м (in mcg/m)

Элемент	Первая группа (8 особей) (традиционная)	Вторая группа (8 особей) (дойные)
Алюминий	$55,53 \pm 11,443$	$26,50 \pm 11,072$
Мышьяк	$0,039 \pm 0,006$	$0,024 \pm 0,005$
Кадмий	$0,003 \pm 0,001$	$0,002 \pm 0,001$
Ртуть	$0,011 \pm 0,001$	$0,013 \pm 0,003$
Свинец	$0,109 \pm 0,015$	$0,117 \pm 0,030$
Олово	$0,052 \pm 0,012$	$0,041 \pm 0,006$
Бериллий	$0,004 \pm 0,002$	$0,002 \pm 0,001$

Заключение. Полученные результаты исследований по изучению элементного статуса лошадей по шерсти, сформированные в ноябре, показывают, что у исследованных групп имеются достоверные различия в содержании некоторых элементов в зависимости от способов содержания (традиционный без доения и с применением доения).

Рассчитанные референсные значения химического состава шерсти кобыл якутских пород в условиях Якутии могут быть использованы при оценке состояния

организма и уровня обмена веществ, основанных на индивидуальной оценке элементного статуса, что поможет выявить и проводить корректировку нарушений.

В дальнейшем предлагаются провести более масштабные исследования, связанные с изучением механизмов и процессов накопления минералов в шерсти якутских лошадей в зависимости от половозрастных и других факторов, что позволит проводить оценку и мониторинг состояния данных животных в зимний период по элементному составу шерсти.

Список источников

1. Габышев М. Ф. Избранные труды. Якутск : Якутское книжное издательство, 1972. 423 с.
2. Абрамов А. Ф. Якутская лошадь : автореф. дис. ... докт. биол. наук. Якутск, 1991. 71 с.
3. Алексеев Н. Д. О происхождении якутской лошади // Наука и техника в Якутии. 2007. № 1. С. 15–18. EDN VOAAGSP.
4. Алексеев Н. Д. Холодовой стресс у лошадей якутской породы // Интенсификация производства продукции животноводства в Якутии : сб. науч. тр. Новосибирск : Редакционно-полиграфическое объединение Сибирского отделения РАСХН, 1992. С. 49–55.
5. Иванов Р. В. Оценка питательной ценности отавы естественных и сеяных трав мелкодолинных участков при тебеневке якутских лошадей // Новые селекционные, физиологические, биотехнологические методы в коневодстве : сб. науч. тр. Дивово, 2000. С. 61–63.
6. Бегнер Х., Кетц А. Научные основы питания сельскохозяйственных животных. М. : Колос, 1973.
7. Богданов Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных. М. : Колос, 1981.
8. Мачахтырова В. А. Физиолого-биохимические параметры организма якутской лошади при различных технологиях доения : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Якутск, 2010. EDN QFBMWN.
9. Кабыш А. А. Нарушение фосфорно-кальциевого обмена у животных на почве недостатка и избытка микроэлементов в зоне Южного Урала : монография. Челябинск, 2006. 408 с. EDN QKOXER.
10. Хеннинг А. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных. М. : Колос, 1976. 559 с.
11. Gonzalez-Maldonado J., Rangel-Santos R., Rodríguez-de Lara R., García-Peña O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows // Animal Reproduction Science. 2017. Vol. 181. P. 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015> Ran.
12. Корочкина Е. А. Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на здоровье и продуктивные качества животных // Генетика и разведение животных. 2016. № 3. С. 69–73. EDN XRFTYV.
13. Куликов А. Н. Дефицит комплекса микроэлементов в организме животных и их коррекция : дис. ... канд. ветерин. наук. Ижевск, 2018. 162 с. EDN GVVYUB.
14. Завьялов О. А. Элементный статус и его изменения по отношению к границам «физиологической нормы» у коров голштинской породы разных лактаций // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 65–74. doi: 10.33284/2658/-3135-103-1-65. EDN GODPUA.

15. Калашников В. В., Багиров В. А., Зайцев А. М., Калинкова Л. В., Калашникова Т. В., Блохина Н. В. [и др.]. Содержание макро- и микроэлементов в конском волосе как характеристика элементного статуса лошадей заводских и локальных пород в разных регионах России // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 25. № 6. С. 1234–1243. doi: 10.15389/agrobiogy/2017/6/1234rus.
16. Мирошников С. А., Завьялов О. А., Фролов А. Н., Курилкина М. Я., Атрощенко М. М. Влияние породной принадлежности на элементный статус лошадей // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 67–71. EDN UZFJFW.
17. Физиология сельскохозяйственных животных / под ред. Н. А. Шманенкова. Ленинград : Наука, 1978. 744 с.
18. Винокуров Н. Т. Совершенствование технологии содержания лошадей янского типа якутской породы в условиях северо-востока Якутии (Оймяконский район) : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Якутск, 2012. 20 с. EDN ZOOKJR.

References

1. Gabyshev M. F. *Selected works*, Yakutsk, Yakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1972, 423 p. (in Russ.).
2. Abramov A. F. The Yakut horse. *Extended abstract of doctor's thesis*. Yakutsk, 1991, 71 p. (in Russ.).
3. Alekseev N. D. On the origin of the Yakut horse. *Nauka i tekhnika v Yakutii*, 2007;1: 15–18. EDN VOAGSP (in Russ.).
4. Alekseev N. D. Cold stress in horses of the Yakut breed. Proceedings from *Intensifikatsiya proizvodstva produktsii zhivotnovodstva v Yakutii*. (PP. 49–55), Novosibirsk, Redaktsionno-poligraficheskoe ob"edinenie Sibirsogo otdeleniya RASKhN, 1992 (in Russ.).
5. Ivanov R. V. Assessment of the nutritional value of hay from natural and seeded grasses of small-scale plots when feeding Yakut horses. Proceedings from *Novye selektsionnye, fiziologicheskie, biotekhnologicheskie metody v konevodstve*. (PP. 61–63), Divovo, 2000 (in Russ.).
6. Begner Kh., Ketz A. *Scientific foundations of nutrition of farm animals*, Moscow, Kolos, 1973 (in Russ.).
7. Bogdanov G. A. *Feeding of farm animals*, Moscow, Kolos, 1981 (in Russ.).
8. Machakhtyrova V. A. Physiological and biochemical parameters of the body of the Yakut horse with various milking technologies. *Extended abstract of candidate's thesis*. Yakutsk, 2010. EDN QFBMWN (in Russ.).
9. Kabysh A. A. *Violation of phosphorus-calcium metabolism in animals due to lack and excess of trace elements in the zone of the Southern Urals: monograph*, Chelyabinsk, 2006, 408 p. EDN QKOXER (in Russ.).
10. Henning A. *Minerals, vitamins, biostimulants in the feeding of farm animals*, Moscow, Kolos, 1976, 559 p. (in Russ.).
11. Gonzalez-Maldonado J., Rangel-Santos R., Rodríguez-de Lara R., García-Peña O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Animal Reproduction Science*, 2017;181:57–62. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015> Ran.
12. Korochkina E. A. The effect of trace elements zinc, cobalt, iodine, selenium, manganese, copper on the health and productive qualities of animals. *Genetika i razvedenie zhivotnykh*, 2016; 3:69–73. EDN XRFTYV (in Russ.).
13. Kulikov A. N. Deficiency of a complex of trace elements in the animal body and their correction. *Candidate's thesis*. Izhevsk, 2018, 162 p. EDN GVYYUB (in Russ.).
14. Zavyalov O. A. The elemental status and its changes in relation to the boundaries of the "physiological norm" in Holstein cows of different lactation. *Zhivotnovodstvo i kormoproduktovodstvo*, 2020;103;1:65–74. doi: 10.33284/2658/-3135-103-1-65. EDN GODPUA (in Russ.).

15. Kalashnikov V. V., Bagirov V. A., Zaitsev A.M., Kalinkova L. V., Kalashnikova T. V., Blokhina N. V. [et al.]. The content of macro- and microelements in horsehair as a characteristic of the elemental status of horses of factory and local breeds in different regions of Russia. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2017;25;6:1234–1243. doi: 10.15389/agrobiology/2017/6/1234rus (in Russ.).
16. Miroshnikov S. A., Zavyalov O. A., Frolov A. N., Kurilkina M. Ya., Atroshchenko M. M. The influence of breed affiliation on the elemental status of horses. *Zhivotnovodstvo i kormoprovodstvo*, 2018;101;2:67–71. EDN UZFJFW (in Russ.).
17. Shmanenkov N. A. (Eds.). *Physiology of farm animals*, Leningrad, Nauka, 1978, 744 p. (in Russ.).
18. Vinokurov N. T. Improving the technology of keeping Yansky-type horses of the Yakut breed in the conditions of the north-east of Yakutia (Oymyakon district). *Extended abstract of candidate's thesis*. Yakutsk, 2012, 20 p. EDN ZOOKJR (in Russ.).

© Слепцова В. В., Павлова Н. И., 2025

Статья поступила в редакцию 16.09.2025; одобрена после рецензирования 17.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

The article was submitted 16.09.2025; approved after reviewing 17.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.

Информация об авторах

Слепцова Василена Васильевна, научный сотрудник, Академия наук Республики Саха (Якутия), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0657-4355>, Author ID: 982953, vvsleptsova1990@mail.ru;

Павлова Нарыйа Иннокентьевна, научный сотрудник, Академия наук Республики Саха (Якутия), Author ID: 1268552, naryya.pavlova@mail.ru

Information about the authors

Vasilena V. Sleptsova, Researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0657-4355>, Author ID: 982953, vvsleptsova1990@mail.ru;

Naryia I. Pavlova, Researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Author ID: 1268552, naryya.pavlova@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 631.31

EDN UYXUWI

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-101-106>

Исследование равномерности распределения семян экспериментальным сошником

Ольга Гениановна Зимина¹, Юрий Цырендоржиевич Бадмаев²

^{1,2} Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова
Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия, oid67@mail.ru

Аннотация. Основные условия при посеве семян зерновых культур – их равномерное распределение по площади и глубине, укладка на уплотненное ложе. Когда семена распределены равномерно, в дальнейшем при прорастании не происходит их загущения, которое приводит к снижению урожайности. Целью исследования является сравнительный анализ статистических характеристик распределения семян по площади посева экспериментального и серийного сошника. Конструкция предлагаемого сошника содержит скатную пластину, вследствие чего поверхность борозды получается горизонтальной, что является предпосылкой для повышения равномерности заделки семян. Представлены результаты полевых исследований экспериментального сошника для посева семян зерновых культур и внесения удобрений ниже слоя семян. Приведен сравнительный анализ равномерности распределения семян овса по площади посева экспериментальным сошником и серийной сеялкой СЗП-3,6А-0,2Б. Исследования показали, что экспериментальный сошник более равномерно распределяет семена по ширине посева, что в дальнейшем влияет на их прорастание и всхожесть. Проведено сравнение статистических показателей сошников.

Ключевые слова: экспериментальный сошник, семена зерновых, посев, равномерность распределения семян, статистический анализ

Для цитирования: Зимина О. Г., Бадмаев Ю. Ц. Исследование равномерности распределения семян экспериментальным сошником // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 101–106. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-101-106>.

Original article

Investigation of the uniformity of seed distribution by an experimental coulter

Olga G. Zimina¹, Yuri Ts. Badmaev²

^{1,2} Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov
Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Russian Federation, oid67@mail.ru

Abstract. When sowing seeds of grain crops, it is important to ensure their uniform distribution over the area and depth, laying on a compacted bed. When the seeds are evenly distributed, they do not thicken during germination, which causes a decrease in yield. The purpose of the work is a comparative analysis of the statistical characteristics of the seed distribution over the area of the experimental and serial coulter. The design of the proposed coulter contains a pitched plate that provides a horizontal furrow surface. This is a prerequisite for increasing the uniformity of seed sealing. The results of field studies of an experimental coulter for sowing grain seeds and applying fertilizers below the seed layer are presented. A comparative analysis of the uniformity of the distribution of oat seeds over the area of sowing by an experimental coulter and a serial seed drill

SZP-3.6A-0.2B. Studies have shown that the experimental coulter distributes seeds more evenly over the sowing width. This has a positive effect on their further germination. Statistical indicators of coulters are compared.

Keywords: experimental coulter, grain seeds, sowing, uniformity of seed distribution, statistical analysis

For citation: Zimina O. G., Badmaev Yu. Ts. Investigation of the uniformity of seed distribution by an experimental coulter. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;4:101–106. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-101-106>.

Введение. Главные агротехнологические требования к посеву семян зерновых культур – равномерное распределение семян по посевной площади, а также равномерное их распределение по глубине, укладка на уплотненное ложе и заделка влажной рыхлой почвой. Качество работы машины зависит от совершенства конструкции, уровня технологической культуры ее изготовления и условий эксплуатации.

Технологический процесс – понятие более общее по отношению к технологическим операциям. Он выступает совокупным процессом, состоящим из технологических операций. В почвенно-климатических условиях Республики Бурятия наибольшее применение получили посевные машины с лаповыми сошниками, поскольку почвы в регионе подвержены водной и ветровой эрозии. Лаповые сошники обеспечивают наиболее благоприятные условия для посева семян зерновых культур [1–4].

Цель исследований – сравнение статистических характеристик распределения семян по площади посева экспериментального и серийного сошника.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились с применением серийного и экспериментального сошника сеялки СЗП-3,6А-0,2Б.

Конструкция экспериментального сошника в отличие от серийного содержит скатную пластину. Поверхность дна за счет скатной пластины получается горизонтальной, уплотненной и позволяет равномерно распределить семена [5–7]. Параллограммная навеска 10 устанавливается на посевных сеялках с целью точного копирования рельефа почвы и обеспечения глубины хода сошника (рис. 1).

При движении экспериментального сошника стрельчатая лапа 1 подрезает пласт, уплотняет почву и образует поч-

венный слой 9. Семена зерновых культур поступают в направитель семян 4, затем на скатную пластину 6, вследствие чего равномерно распределяются на поверхности уплотненного ложа по всей ширине захвата стрельчатой лапы. Одновременно удобрения поступают в туконаправитель 3 и далее к ножу туконаправителя, попадая в слой 7 ниже посева семян (рис. 1).

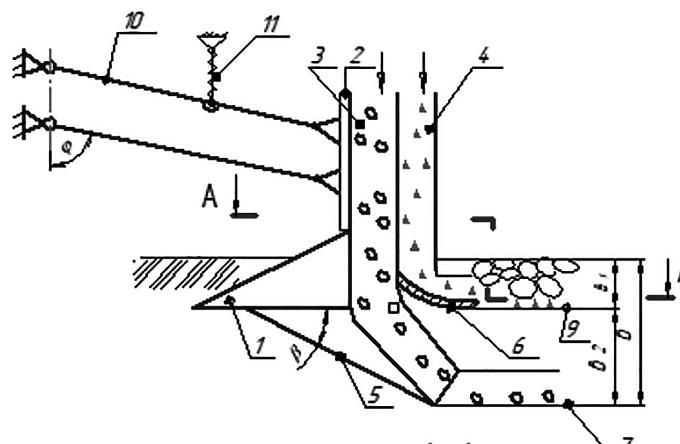
В полевых условиях были проведены эксперименты на равномерность распределения семян овса по площади посева. Соответствующий показатель определялся по всходам после полного их появления путем наложения квадратной рамки размером 500×500 мм с нанесенной сеткой квадратом, стороны которого равны 50 мм.

Применяя методы математической статистики, вычислены вариационные показатели, характеризующие равномерность распределения семян зерновых по площади посева, в продольном и поперечном направлении при скоростях движения в пределах от 1,5 до 4 м/с [7, 8].

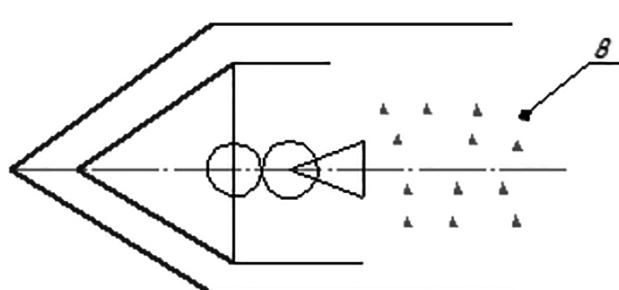
По материалам сравнительных испытаний на равномерность распределения семян на всю ширину сошниковых лап были определены разности между наибольшим и наименьшим значениями при посеве экспериментальным и серийным сошником. Для наглядности составлена таблица сгруппированного распределения частот заделки семян овса по площади посева. Систематизация сводится к распределению отдельных значений по классам.

Определены среднее значение класса, частота распределения семян (табл. 1). Далее методами математической статистики [9] находили показатели дисперсии, коэффициента вариации и среднего квадратичного отклонения.

Результаты исследований и их обсуждение. По результатам экспериментальных исследований были построены



главный вид (main view)



вид сверху (view from above)

1 – лапа стрельчатая; 2 – стойка; 3 – туконаправитель; 4 – направитель семян; 5 – нож туконаправителя; 6 – скатная пластина; 7 – слой внесения удобрений; 8 – семена; 9 – слой посева семян; 10 – поводок параллелограммного механизма; 11 – пружина
 1 – pointed paw; 2 – rack; 3 – guide rail; 4 – seed guide rail; 5 – guide rail knife; 6 – pitched plate; 7 – fertilizer application layer; 8 – seeds; 9 – seed sowing layer; 10 – parallelogram mechanism leash; 11 – spring

Рисунок 1 – Экспериментальный сошник

Figure 1 – Experimental coulter

Таблица 1 – Распределение семян овса по ширине посева

Table 1 – Distribution of oat seeds by sowing width

Номер п/п	Систематизированный вариационный ряд (ширина распределения семян, см)	Среднее значение (a)	Частота распределения (n)
1	2–3	2,5	2
2	4–5	4,5	10
3	6–7	6,5	11
4	8–9	8,5	13
5	10–11	10,5	8
6	12–13	12,5	5
7	14–15	14,5	5

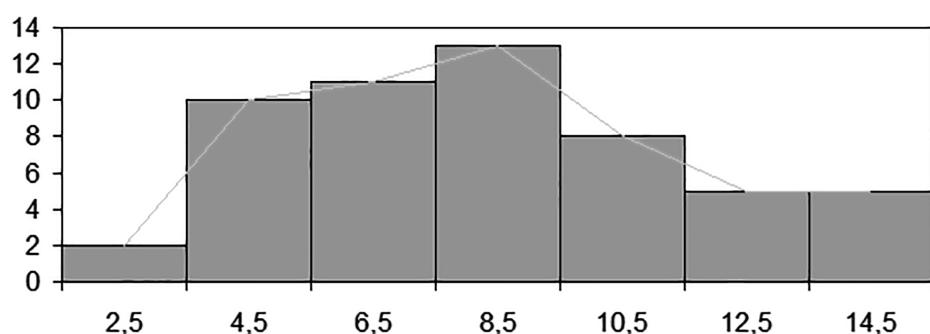
гистограммы и полигон распределения семян по ширине посева экспериментального сошника (рис. 2, а), а также серийного сошника сеялки СЗП-3,6А-0,2Б (рис. 2, б).

В таблице 1 представлено распределение семян овса по ширине посева. Величину интервала взяли равным 7, поскольку получается целое число, равное 2 см. В результате среднее значение варьировалось от 2,5 до 14,5 см. Максимальное значение частоты распределения составило 13. Была построена кривая эмпирического распределения семян; при этом частота попадания признака составляет 8,5 с коэффициентом вариации 43,1 % (рис. 2, а). Гистограмма и кривая распределения семян показывают, что экспериментальный сошник более равномерно распределяет семена овса по ширине.

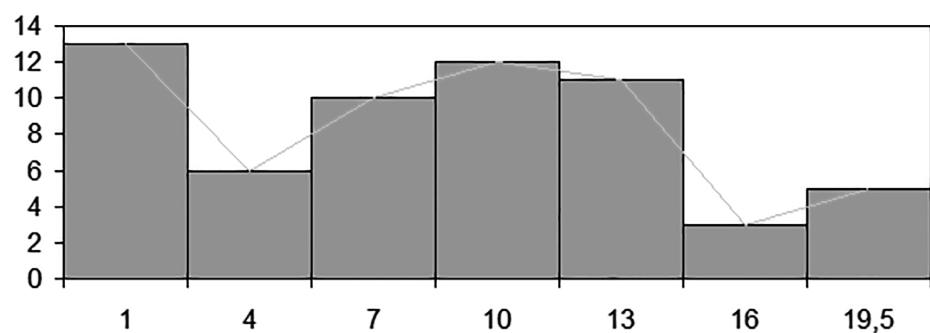
На рисунке 2, б представлена гистограмма распределения семян овса серийным сошником сеялки СЗП-3,6А-0,2Б. Из гистограммы видно, что распределение семян происходит неравномерно. Коэффициент вариации составил 63,4 %.

Тем самым мы установили сравнительный размах варьирования распределения семян по площади посева экспериментального и серийного сошника. В дальнейшем это позволит провести корректировку настройки сошниковой группы экспериментальной посевной сеялки.

Заключение. Сравнительный анализ статистических данных экспериментального и серийного сошника показал, что лучшую равномерность семян показал экспериментальный сошник.



а) экспериментальный сошник (experimental coulter)



б) серийный сошник сеялки СЗП-3,6А-0,2Б (serial coulter of the SZP-3.6A-0.2B seeder)

ось OX – средние значения; ось OY – частоты распределения

OX axis – average values; OY axis – distribution frequencies

Рисунок 2 – Гистограмма и кривая распределения семян по ширине посева

Figure 2 – Histogram and curve of seed distribution by sowing width

Список источников

1. Беляев В. И. Закономерности изменения показателей качества посева яровой пшеницы посевными комплексами с различными высевающими рабочими органами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 12 (242). С. 84–90. doi: 10.53083/1996-4277-2024-242-12-84-90. EDN MFWXVI.
2. Беляев В. И., Пирожков Д. Н., Тагильцев А. В. Отработка технологии дифференцированного способа внесения семян и удобрений на яровой пшенице // Инженерное обеспечение сельского хозяйства: проблемы, достижения, перспективы : материалы I междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2024. С. 56–61. EDN MAWAZT.
3. Гурьянов А. М., Артемьев А. А. Ресурсосберегающие технологии и технологии точного земледелия в сельскохозяйственном производстве // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы XVI междунар. науч.-практ. конф. Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, 2020. С. 162–166. EDN WISAXS.
4. Демчук Е. В. Исследование тягового сопротивления комбинированного сошника для разноглубинного внесения удобрений и высева семян // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (30). С. 104–109. EDN XUEDCP.
5. Зимина О. Г. Экспериментальные исследования комбинированного сошника // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2023. № 2 (89). С. 65–71. doi: 10.53980/24131997_2023_2_65. EDN XUAQVD.
6. Курдюмов В. И., Мударисов С. Г., Татаров Г. Л. Оптимизация конструктивных параметров и режимов работы сошника для разноуровневого высева семян и удобрений // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 1 (37). С. 79–84. EDN VSKAAF.
7. Патент № 155428 РФ. Сошник комбинированный : № 2014142613/13 : заявл. 22.10.2014 : опубл. 10.10.2015 / Сергеев Ю. А., Зимина О. Г., Тыскенеев Д. О., Галсанов Б. К. Бюл. № 28. 2 с.
8. Раднаев Д. Н., Зимина О. Г. Обоснование рациональных параметров сошника для посева зерновых культур с внесением удобрений ниже уровня семян // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 3 (59). С. 106–115. doi: 10.24412/1999-6837-2021-3-106-115. EDN UYLWOY.
9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. М. : Альянс, 2011. 350 с. EDN QLCQEP.

References

1. Belyaev V. I. Patterns of change in the quality indicators of spring wheat sowing by sowing complexes with various sowing working bodies. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024;12(242):84–90. doi: 10.53083/1996-4277-2024-242-12-84-90. EDN MFWXVI (in Russ.).
2. Belyaev V. I., Pirozhkov D. N., Tagiltsev A. V. Development of technology of differentiated method of application of seeds and fertilizers on spring wheat. Proceedings from Agricultural engineering: problems, achievements, prospects: I Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 56–61), Barnaul, Altaiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2024. EDN MAWAZT (in Russ.).
3. Guryanov A. M., Artemyev A. A. Resource-saving technologies and precision farming technologies in agricultural production. Proceedings from Resource-saving environmentally safe technologies for the production and processing of agricultural products: XVI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. (PP. 162–166), Saransk, Natsional'nyi issledovatel'skii Mordovskii gosudarstvennyi universitet, 2020. EDN WISAXS (in Russ.).

4. Demchuk E. V. Investigation of the traction resistance of a combined coulter for multi-depth fertilization and seed sowing. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018;2(30):104–109. EDN XUEDCP (in Russ.).
5. Zimina O. G. Experimental studies of combined coulter. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya*, 2023;2(89):65–71. doi: 10.53980/24131997_2023_2_65. EDN XUAQVD (in Russ.).
6. Kurdyumov V. I., Mudarisov S. G., Tatarov G. L. Optimization of design parameters and operating modes of a coulter for multi-level sowing of seeds and fertilizers. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016;1(37):79–84. EDN VSKAAT (in Russ.).
7. Sergeev Yu. A., Zimina O. G., Tyskeneev D. O., Galsanov B. K. Combined coulter. *Patent RF, No. 155428 patents.google.com* 2015 Retrieved from <https://patents.google.com/patent/RU155428U1/ru> (Accessed 10 August 2025) (in Russ.).
8. Radnaev D. N., Zimina O. G. Substantiation of rational parameters of a coulter for sowing grain crops with fertilizers applied below the seed level. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2021; 3(59):106–115. doi: 10.24412/1999-6837-2021-3-106-115. EDN UYLWOY (in Russ.).
9. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook*, Moscow, Al'yans, 2011, 350 p. EDN QLCQEP (in Russ.).

© Зимина О. Г., Бадмаев Ю. Ц., 2025

Статья поступила в редакцию 26.10.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

The article was submitted 26.10.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.

Информация об авторах

Зимина Ольга Гениановна, кандидат технических наук, доцент, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова, oid67@mail.ru;

Бадмаев Юрий Цырендоржиеевич, кандидат технических наук, доцент, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова

Information about the authors

Olga G. Zimina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov, oid67@mail.ru;

Yuri Ts. Badmaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov

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 637.12:635.8

EDN XJLFSJ

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-107-115>

Разработка технологии функционального творожного продукта, обогащенного экстрактами грибов *Hericium erinaceus* и *Ganoderma lucidum* и ягодным компонентом

Денис Александрович Карпич

Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

Дальневосточное высшее общевойсковое командное Ордена Жукова училище имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского

Амурская область, Благовещенск, Россия, denis.karpich@mail.ru

Аннотация. Автором рассматривается получение функциональных творожных продуктов, обогащенных экстрактами грибов *Hericium erinaceus* (ежовик гребенчатый) и *Ganoderma lucidum* (трутовик лакированный), а также ягодным компонентом (порошком винограда амурского). Оба гриба содержат биологически активные полисахариды, обладающие выраженной антиоксидантной и противоопухолевой активностью. В ходе исследований были изучены методы получения водных грибных экстрактов, исследован их химический состав и антиоксидантная активность. Если сравнить полученные экстракты по содержанию флавоноидов, то в ежовике гребенчатом они составляют $390,0 \pm 0,3$ мкг/г, а в трутовике лакированном – $360,5 \pm 0,2$ мкг/г, и это более чем в два раза превышает их содержание в чаге. Разработана технология производства соответствующего творожного продукта, подробно описаны технологические этапы, параметры коагуляции, заквашивания и пастеризации. В состав готового продукта дополнительно введен порошок винограда амурского, обогащающий продукт антицианами и природными антиоксидантами. Проведен анализ органолептических, микробиологических и антиоксидантных свойств полученных образцов. Результаты проведенных исследований подтверждают возможность промышленного внедрения технологии производства функционального творожного продукта, обладающего выраженной биологической активностью.

Ключевые слова: функциональный творожный продукт, экстракты грибов, виноград амурский, флавоноиды, антицианы, антиоксидантная активность

Для цитирования: Карпич Д. А. Разработка технологии функционального творожного продукта, обогащенного экстрактами грибов *Hericium erinaceus* и *Ganoderma lucidum* и ягодным компонентом // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 107–115. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-107-115>.

Original article

Development of a technology for a functional curd product enriched with extracts of *Hericium erinaceus* and *Ganoderma lucidum* mushrooms and a berry component

Denis A. Karpich

Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation
Far Eastern Higher Combined Arms Command Order of Zhukov School named after Marshal of the Soviet Union K. K. Rokossovsky, Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation
denis.karpich@mail.ru

Abstract. The article shows the production of functional curd products enriched with extracts of *Hericium erinaceus* and *Ganoderma lucidum* mushrooms, as well as a berry component (Amur

grape powder). These mushrooms contain biologically active polysaccharides with pronounced antioxidant and antitumor activity. The author investigated the methods of obtaining aquatic mushroom extracts, their chemical composition and antioxidant activity. A technology for the production of a functional curd product has been developed, the technological stages are described, including the parameters of coagulation, fermentation and pasteurization. The product also contains Amur grape powder, which enriches it with anthocyanins and natural antioxidants. The analysis of organoleptic, microbiological and antioxidant properties of the obtained samples was carried out. The research presented by the author confirms the possibility of industrial implementation of the technology for the production of a functional curd product with pronounced biological activity.

Keywords: functional curd product, mushroom extracts, Amur grapes, flavonoids, anthocyanins, antioxidant activity

For citation: Karpich D. A. Development of a technology for a functional curd product enriched with extracts of *Hericium erinaceus* and *Ganoderma lucidum* mushrooms and a berry component. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:107–115. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-4-107-115>.

Введение. Развитие рынка функциональных пищевых продуктов является одним из приоритетных направлений современной пищевой биотехнологии. Особую актуальность приобретают продукты, обогащенные природными биологически активными веществами с доказанной антиоксидантной и иммуномодулирующей активностью, способные оказывать позитивное влияние на здоровье человека в условиях повышенных оксидативных нагрузок. В этом связи значительный интерес представляют полисахариды высших базидиальных грибов, в том числе ежовика гребенчатого (*Hericium erinaceus*) и трутовика лакированного (*Ganoderma lucidum*), которые, как показали многочисленные исследования, обладают широким спектром фармакологических свойств [1, 2].

Для повышения нутриентной плотности и органолептической привлекательности перспективным является сочетание грибных полисахаридов с полифенольными источниками, включая порошок винограда амурского (*Vitis amurensis*), богатый антицианами и ресвератролом. Антиоксиданты способны подавлять свободные радикалы. В молодом возрасте они могут образовываться самим организмом; однако в дальнейшем количество антиоксидантов в организме уменьшается, в результате чего жизненно необходимым становятся дополнительные средства защиты [3].

Перспективным направлением является использование ягодного дикорастущего сырья в свежем и переработанном виде в пищевых технологиях. Исследованиями М. Ю. Акимова, Н. А. Лесникова, В. М. Позняковского и других авторов на-

учно обоснована пищевая ценность дикорастущего ягодного сырья по сравнению с культурными сортами. Ягоды сушеные, порошки, экстракты и выжимки являются доступным природным сырьем и содержат большое количество минеральных веществ, витаминов, аминокислот, пектиновых веществ, клетчатки.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью решения двух взаимосвязанных задач:

1. Расширение ассортимента отечественных функциональных продуктов за счет использования уникального дикорастущего сырья Дальневосточного региона (грибов *H. erinaceus*, *G. lucidum* и ягод винограда амурского (*V. amurensis*)).

2. Научное и технологическое обоснование синергетического эффекта от комбинированного введения грибных полисахаридов и растительных полифенолов в одну пищевую матрицу для создания продукта с повышенной антиоксидантной активностью.

В качестве оптимальной пищевой матрицы был выбран творог, обладающий высокой пищевой ценностью, нейтральными органолептическими свойствами и хорошей совместимостью с различными обогащающими добавками.

Целью исследований являлась разработка и комплексная оценка (технологическая, органолептическая, функциональная и микробиологическая) нового творожного продукта, обогащенного водными экстрактами грибов *Hericium erinaceus* и *Ganoderma lucidum*, а также порошком из ягод винограда амурского.

В соответствии с поставленной целью поставлены и решены следующие задачи: разработать технологию производства творожного продукта с внесением функциональных ингредиентов на холодной стадии; определить органолептические, физико-химические показатели продукта; оценить антиоксидантную активность по способности к ингибиции DPPH-радикала; математически описать модель процесса; провести исследование готового продукта по микробиологическим показателям и на содержание тяжелых металлов.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований выступают опытные образцы творожного продукта (контрольный и четыре обогащенных варианта), где обогатителями являлись водные экстракты древесных грибов и ягодный порошок *Vitis amurensis*.

Экспериментальные исследования проводились на базе лаборатории кафедры технологии переработки сельскохозяйственной продукции Дальневосточного государственного аграрного университета. Определение показателей безопасности выполнено в лаборатории ООО «Центр химических исследований» (Москва) и в лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Амурской области» в период 2023–2025 гг.

В ходе проведения экспериментальных исследований использовалось следующее сырье: молоко коровье сырое; заквасочные культуры (мезофильные и термофильные); сырчужный фермент; водные экстракты *Hericium erinaceus* и *Ganoderma lucidum*, стандартизованные по сумме полисахаридов; порошок *Vitis amurensis* (измельченный и высушенный «изюм/кожура/выжимка») тонкого помола (менее 50 мкм) и др.

Основой служила классическая технология производства кисломолочного творога по нормам ГОСТ 31453–2013 «Творог. Технические условия», адаптированная под холодное введение термолабильных добавок.

Органолептический анализ творожного продукта проводили по балльной шкале. Разработку описательной балльной шкалы оценки осуществляли в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов. При этом

номенклатуру показателей качества принимали согласно ГОСТ 31453–2013.

Содержание флавоноидов в пересчете на рутин определяли, используя нормы Р 4.1.1672–03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище», фотометрическим методом. Колориметрический метод с алюминий хлоридом применялся для установления суммарного количества флавонолов. Определение свободных аминокислот выполняли согласно ГОСТ 34230–2017 «Продукция соковая. Определение свободных аминокислот методом высокоэффективной жидкостной хроматографии».

Для определения содержания токсичных элементов, тяжелых металлов, бактерий группы кишечной палочки, мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов использовались положения действующей нормативно-технической документации (требования государственных стандартов).

Результаты исследований и их обсуждение. Творожный продукт изготавливали по традиционной технологии с внесением функциональных компонентов (экстрактов грибов и порошка винограда) на завершающих стадиях процесса. Все этапы были направлены на обеспечение безопасности, стабильности структуры, а также сохранность биологически активных веществ.

Для производства использовали коровье молоко, которое принимали при температуре не выше 10 °С, оценивали его органолептические показатели (запах, вкус, цвет, консистенцию), массовую долю жира, плотность, кислотность и бактериальную обсемененность. После подтверждения соответствия проводили очистку молока на фильтрах, удаляя механические примеси и соматические клетки.

На нормализаторе проводили корректировку массовой доли жира в соответствии с рецептурой (в пределах 0–9 %). При производстве обезжиренного варианта продукта можно использовать смесь обезжиренного молока и сливок в расчетном соотношении.

Температуру нормализованного молока снижали до 4–6 °С и временно хранили до пастеризации.

Пастеризацию осуществляли на пластинчатых пастеризационно-охладительных установках при температуре в пределах 72–76 °С с выдержкой 15–20 с. Данный режим обеспечивает уничтожение мезофильной микрофлоры при сохранении питательных свойств белков и минимальном изменении казеинового комплекса. Сразу после пастеризации молоко охлаждали до температуры заквашивания: 28–32 °С для мезофильных культур (*Lactococcus lactis*, *Leuconostoc mesenteroides*); 40–45 °С для термофильных культур (*Streptococcus thermophilus*). Охлаждение можно проводить в контуре охладителя или с помощью пластиинчатого теплообменника.

В молоко при температуре заквашивания вносили мезофильную закваску в количестве 0,5–2 % массы молока. Закваска должна содержать активные молочно-кислые культуры с титром, составляющим не ниже 1×10^9 КОЕ/мл. При необходимости применяется комбинированный метод коагуляции, состоящий в добавлении 0,002–0,006 % сычужного фермента для ускорения отделения сыворотки и уплотнения сгустка. Процесс сквашивания продолжается до достижения уровня рН – 4,6–4,7 (кислотность приблизительно равна 75–80 °Т). Продолжительность коагуляции составляет 6–12 час в зависимости от активности закваски и температуры среды. Готовый сгусток должен обладать плотной, но эластичной консистенцией, без выделившейся сыворотки.

После формирования сгустка проводили его резку ножевой рамкой на кубики размером 10–15 мм, обеспечивая равномерный выход влаги. Затем сгусток самопрессуется при температуре 20–24 °С в течение 30–40 мин. После этого выполняли прессование до достижения влажности 73–75 %. Отделенную сыворотку удаляли. При необходимости ее также фильтруют и используют для подготовки растворов функциональных добавок.

Полученный творог охлаждали до температуры 6–8 °С и выдерживали в течение 4–6 час для стабилизации структуры и выравнивания влагораспределения. На этой стадии завершается формирование белковой сетки и устанавливается оптимальная консистенция массы.

Затем осуществляли подготовку функциональных ингредиентов. Для соб-

ственных исследований была использована экстракция грибов методом циркуляции на приборе Сокслета. Опытное экстрагирование проводилось в течение 60 минут. В качестве одного экстрагента выступала дистиллированная вода; другим являлся этиловый спирт концентрацией 70 %. Несмотря на больший выход биологически активных веществ образца, где в качестве экстрагента выступал спирт, он является недопустимым в производстве некоторых пищевых продуктов, таких как творожные, в связи с тем, что по разработанной технологии экстракт вводится в рецептурную смесь без предварительной обработки [1, 4]. Водный экстракт хранится при температуре 4 °С не более 24 часов. Он не обладает вкусовыми особенностями, поэтому при внесении его в состав пищевых продуктов не изменяет органолептических показателей последних [4].

Порошок винограда амурского изготавливали из кожуры и выжимок винограда *Vitis amurensis*. Сыре сушили при температуре до 45 °С в сушильном шкафу и измельчали до получения частиц размером до 50 мкм. Порошок содержит антоцианы, ресвератрол и катехины, является источником полифенолов. Его можно использовать как в чистом виде, так и в смеси с экстрактом грибов.

Внесение функциональных добавок (холодная стадия) проводили после охлаждения творожной массы до 6–8 °С, чтобы избежать разрушения термолабильных соединений. Смесь экстрактов *H. erinaceus* и *G. lucidum* вносили в количестве 17–21 % от массы продукта (в пересчете на сухие вещества). Порошок *V. amurensis* добавляли в дозе 5–15 % в зависимости от желаемой интенсивности окраски и антиоксидантного эффекта.

Порошок винограда амурского дисперсировали в 5-кратном объеме экстракта, затем добавляли в творожную массу и перемешивали в планетарном смесителе в течение 3–5 мин до полной однородности. Внесение выполняли в закрытом смесителе под слабым вакуумом (0,03 МПа) для предотвращения пенообразования и окисления полифенолов.

Готовую массу фасовали в пластиковые стаканы или ламированные стаканчики вместимостью 100–400 г, герметизировали пленкой и охлаждали до 2–6 °С.

Срок годности при температуре хранения (4 ± 2) °С составляет до 7 суток при соблюдении санитарных норм.

Для готового продукта проводили контроль органолептических, физико-химических и микробиологических показателей. В результате контроля установлено:

- 1) внешний вид и консистенция – однородная, кремообразная;
- 2) цвет – от белого до фиолетового (при добавлении виноградного порошка);
- 3) вкус и запах – чистый, с выраженным сливочно-ягодными нотами, без посторонних привкусов;
- 4) массовая доля влаги – 73–75 %;
- 5) активность воды – до 0,98;
- 6) КМАФАнМ – до 2×104 КОЕ/г;
- 7) наличие БГКП, патогенов, дрожжей и плесеней – отсутствуют.

Антиоксидантную активность оценивали по способности к ингибированию DPPH-радикала – стабильного органического радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилы. В растворе (обычно метанол/этанол) он имеет интенсивную фиолетово-пурпурную окраску с максимумом оптического поглощения примерно при 517 нм. Когда к нему добавляют антиоксиданты (доноры электрона и (или) атома водорода), радикал восстанавливается до гидразина DPPH-Н и окраска обесцвечивается (падает оптическая плотность). Именно скорость и величина снижения абсорбции и отражают способность образца нейтрализовать свободный радикал. В нашем случае увеличение показателя при

обогащении экстрактами свидетельствует о технологическом эффекте. Если сравнить полученные данные по содержанию флавоноидов, то в *Hericium erinaceus* они составляют $390,0\pm0,3$ мкг/г, а в *Ganoderma lucidum* – $360,5\pm0,2$ мкг/г, что более чем в два раза превышает показатели древесного гриба чаги, обладающего высокой антиоксидантной активностью.

Для демонстрации технологической применимости предложены пять вариантов экспериментальных образцов (контрольный и четыре обогащенных варианта) (табл. 1).

Органолептическую оценку готовой массы проводили с использованием метода оценки качества по контрольному образцу и балльного метода, при котором результат оценки выражается в баллах. Результаты оценки представлены на рисунке 1. Образцы 1 и 2 получили одинаковые баллы, в связи с чем было принято решение объединить вводимые экстракты.

В результате обработки априорной информации были выделены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качественные показатели готового продукта. К ним относятся:

X_1 – температура экстрактов, при которой происходит наилучшее растворение ягодного порошка, °С;

X_2 – дозировка экстрактов древесных грибов, % от массы творога;

X_3 – дозировка порошка винограда амурского, % от массы творога.

После реализации эксперимента по матрице плана и получения критериев

Таблица 1 – Варианты экспериментальных образцов

Table 1 – Variants of experimental samples

Варианты образцов	НЕР, мг/100 г	GLP, мг/100 г	Порошок <i>V. amurensis</i> , %	DPPH, % ингибирования
Контроль	0	0	0,0	22
НЕР	50	0	0,0	38
GLP	0	50	0,0	36
НЕР + GLP (1:1)	25	25	0,0	50
НЕР + GLP (1:1) + <i>V. amurensis</i>	25	25	0,5	68

Примечания: НЕР – *Hericium erinaceus* Polysaccharides (полисахариды ежовика гребенчатого); GLP – *Ganoderma lucidum* Polysaccharides (полисахариды трутовика лакированного); DPPH – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (метод оценки антиоксидантной активности).

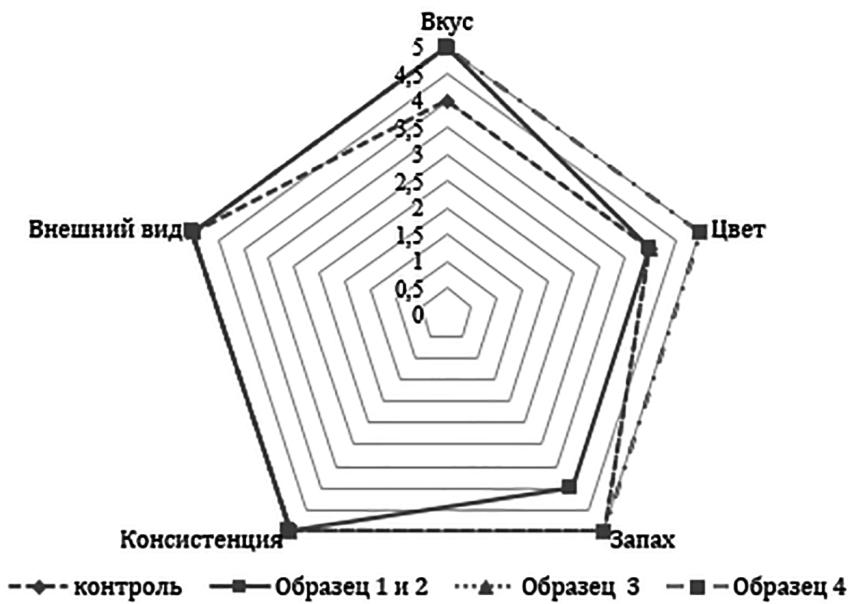


Рисунок 1 – Результаты органолептической оценки

Figure 1 – Results of organoleptic evaluation

оптимизации были проведены обработка результатов и построение математической модели, которая в кодированном виде имеет вид выражения (1):

$$Y = 27,227 + 0,1143X_1 - 0,1953X_3 + 0,1X_1X_2 - 0,1667X_1X_3 - 0,3667X_2X_3 + 0,1667X_1X_2X_3 - 0,2084X_1^2 - 0,4052X_2^2 - 0,3068X_3^2 \rightarrow \max \quad (1)$$

Проведенные исследования показали оптимальные значения определяемых факторов: температура раствора не должна превышать 32 °C; количество вводимого растворителя (экстракта древесных грибов) составит максимально 19 %; а количество вносимого порошка из ягод винограда амурского 11 % на 100 % основы.

Полученные (демонстрационные) тенденции согласуются с результатами других исследований. Установлено, что полисахариды *H. erinaceus* и *G. lucidum* сопровождаются антиоксидантной активностью и иммуномодуляцией, тогда как полифенолы *V. amurensis* (в том числе ресвератрол) дополнительно увеличивают суммарную антиоксидантную активность пищевой матрицы [5–8].

Производство обогащенного творожного продукта, начиная с внесения добавок, проводили в условиях минимального доступа кислорода и при пониженной температуре. Внесение экстрактов при

температуре выше 15 °C нежелательно, поскольку возможно разрушение β-глюканов. Продукт должен храниться при температуре 2–6 °C в герметичной упаковке не более 7 суток; его повторная заморозка запрещена. Для увеличения срока годности допустимо использование сорбиновой кислоты или натуральных антиоксидантов растительного происхождения [9].

Готовый функциональный творожный продукт представляет собой однородную пластичную массу от светло-розового до фиолетового оттенка с характерным сливочно-ягодным вкусом.

Продукт был исследован по микробиологическим показателям (табл. 2). Данные таблицы позволяют сделать вывод, что выработанный продукт соответствует установленным требованиям и является безопасным при его употреблении [10].

Также было проведено исследование на показатели содержания тяжелых металлов в продукте, которые могут быть обнаружены в грибах или дикорастущей ягоде вследствие накопления [11]. Данные приведены в таблице 3. По показателям безопасности исследованный образец соответствует санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям.

Заключение. В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель – разработан и ком-

Таблица 2 – Микробиологические показатели готового продукта
Table 2 – Microbiological indicators of the finished product

Наименование показателя	Норма, не более КОЕ/г	Содержится в продукте, КОЕ/г
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ)	5×10^4	2×10^4
Содержание бактерий группы кишечной палочки (БГКП, колиформы) в 0,1 г продукта	не допускается	не обнаружены
Содержание патогенных микроорганизмов, включая сальмонелл, в 10 г продукта	не допускается	не обнаружены

Таблица 3 – Пределенно допустимый уровень содержания тяжелых металлов
Table 3 – Maximum permissible level of heavy metals

В мг/кг (in mg/kg)

Вид тяжелого металла	Норма	Содержится в продукте
Ртуть	не более 0,005	менее 0,002
Кадмий	не более 0,03	менее 0,01
Мышьяк	не более 0,05	менее 0,04
Свинец	не более 0,1	менее 0,01

плексно оценен новый функциональный творожный продукт.

Рецептура и технология предусматривают холодное внесение стандартизованных водных экстрактов *H. erinaceus* и *G. lucidum* (в соотношении 1:1) с суммарным содержанием полисахаридов в объеме 50 мг/100 г и порошка *V. amurensis* (11 %) в творожную массу на завершающей стадии производства. Принятый подход обеспечивает сохранность термолабильных биологически активных веществ.

Проведена комплексная оценка продукта. Установлено, что готовый продукт обладает высокими органолептическими характеристиками, соответствует требованиям безопасности по микробиологическим показателям и содержанию тяжелых металлов. Ключевым результатом оценки функциональных свойств является доказанное синергетическое действие вносимых компонентов: комбинированное использование грибных экстрактов и ягодного порошка позволило достичь

уровня антиоксидантной активности (по методу DPPH), составившего 68 %, что существенно превышает показатели контрольного образца (22 %) и образцов с отдельными компонентами.

При этом технологический процесс был оптимизирован для обеспечения стабильности структуры продукта, сохранности биологически активных компонентов и соблюдения санитарных норм. Продукт показал хорошие результаты при контроле микробиологических и физико-химических показателей, что свидетельствует о его безопасности для потребителей.

Научно обоснована и технологически реализована рецептура творожного продукта-функционала, сочетающая в себе традиционные питательные свойства и повышенную антиоксидантную активность за счет комбинации дальневосточного грибного и ягодного сырья. Полученные результаты подтверждают перспективность промышленного внедрения разработанной технологии.

Список источников

1. Гартованная Е. А., Шустов В. С., Карпич Д. А. Аспект получения экстрактов древесных грибов и возможность их применения в пищевой индустрии // Молочнохозяйственный вестник. 2024. № 1 (53). С. 156–172. doi: 10.52231/2225-4269_2024_1_156. EDN FIGHWU.
2. Ge F., Chen Y., Wang B., Zhou W., Du B., Hou L. Bioactive polysaccharides from *Hericium erinaceus*: extraction, structure, biological activity, and applications // Molecules. 2025. Vol. 30. No. 8. P. 1850. doi: 10.3390/molecules30081850.
3. Chakraborty N., Banerjee A., Sarkar A., Ghosh S., Acharya K. Mushroom polysaccharides: A potent immune-modulator // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021. No. 11. P. 8915–8930. doi: 10.33263/BRIAC112.89158930. EDN PROAWD.
4. Носов А. И., Сысоева М. А., Зиятдинова Г. К., Будников Г. К. Выбор способа экстракции трутовых грибов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы V всерос. конф. с междунар. участием. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2012. С. 474–475. EDN RUEFLR.
5. Диханбаева Ф. Т., Узаков Я. М., Даулетбаков Б. Д. Математическое моделирование параметров качества кисломолочной продукции // Вестник Алматинского технологического университета. 2024. № 4. С. 20–27. doi: 10.48184/2304-568X-2024-4-20-27. EDN EXMXVP.
6. Меренкова С. П., Ликсунова А. Д., Меренков А. В., Якимов С. И. Математические методы анализа свойств комбинированных пищевых систем // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 4. С. 46–52. doi: 10.14529/food200406. EDN NYXXBO.
7. Першакова Т. В., Иванова Е. А. Методики и модели проектирования продуктов питания с заданным составом // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. № 80 (2). С. 1–22. doi: 10.30679/2219-5335-2023-2-80-1-22. EDN BUBFTD.
8. Reis F. S., Barros L., Martins A., Ferreira I. C. F. R. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study // Food and Chemical Toxicology. 2012. Vol. 50. No. 2. P. 191–197. doi: 10.1016/j.fct.2011.10.056.
9. Кондратенко В. В., Агаркова Е. Ю., Пряничникова Н. С., Фильчакова С. А. Концепция формирования специализированной модели создания многокомпонентного продукта энтерального питания // Пищевая промышленность. 2024. № 11. С. 14–18. doi: 10.52653/PPI.2024.11.11.002. EDN JNMYTO.
10. Гартованная Е. А., Кострыкина С. А., Шустов В. С. Мониторинг вторичного молочного сырья и аспекты его использования // Экономика и предпринимательство. 2023. № 12 (161). С. 418–421. doi: 10.34925/EIP.2023.161.12.084. EDN XFQRXG.
11. Юрова Е. А. Контроль качества и безопасности продуктов функциональной направленности на молочной основе // Молочная промышленность. 2020. № 6. С. 12–15. doi: 10.31515/1019-8946-2020-06-12-15. EDN RRQJFM.

References

1. Gartovannaya E. A., Shustov V. S., Karpich D. A. The aspect of obtaining extracts of wood mushrooms and the possibility of their use in the food industry. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik*, 2024;1(53):156–172. doi: 10.52231/2225-4269_2024_1_156. EDN FIGHWU (in Russ.).
2. Ge F., Chen Y., Wang B., Zhou W., Du B., Hou L. Bioactive polysaccharides from *Hericium erinaceus*: extraction, structure, biological activity, and applications. *Molecules*, 2025; 30;8:1850. doi: 10.3390/molecules30081850.
3. Chakraborty N., Banerjee A., Sarkar A., Ghosh S., Acharya K. Mushroom polysaccharides: A potent immune-modulator. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 2021;11:8915–8930. doi: 10.33263/BRIAC112.89158930. EDN PROAWD.
4. Nosov A. I., Sysoeva M. A., Ziyatdinova G. K., Budnikov G. K. The choice of the extraction method of tinder mushrooms. *Proceedings from New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials: V Vserossiiskaya konferentsiya s mezhdunarodnym*

uchastiem. (PP. 474–475), Barnaul, Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 2012. EDN RUEFLR (in Russ.).

5. Dikhanbayeva F. T., Uzakov Ya. M., Dauletbaev B. D. Mathematical modeling of quality parameters of fermented milk products. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2024;4:20–27. doi: 10.48184/2304-568X-2024-4-20-27. EDN EXMXVP (in Russ.).

6. Merenkova S. P., Liksunova A. D., Merenkov A. V., Yakimov S. I. Mathematical methods for analyzing the properties of combined food systems. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii*, 2020;8;4:46–52. doi: 10.14529/food200406. EDN NYXXBO (in Russ.).

7. Pershakova T. V., Ivanova E. A. Methods and models for designing food products with a given composition. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*, 2023;80(2):1–22. doi: 10.30679/2219-5335-2023-2-80-1-22. EDN BUBFTD (in Russ.).

8. Reis F. S., Barros L., Martins A., Ferreira I. C. F. R. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. *Food and Chemical Toxicology*, 2012;50;2:191–197. doi: 10.1016/j.fct.2011.10.056.

9. Kondratenko V. V., Agarkova E. Yu., Pryanichnikova N. S., Filchakova S. A. The concept of forming a specialized model for creating a multicomponent enteral nutrition product. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2024;11:14–18. doi: 10.52653/PPI.2024.11.11.002. EDN JNMYTO (in Russ.).

10. Gartovannaya E. A., Kostrykina S. A., Shustov V. S. Monitoring of secondary dairy raw materials and aspects of its use. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2023;12(161):418–421. doi: 10.34925/EIP.2023.161.12.084. EDN XFQRXG (in Russ.).

11. Yurova E. A. Quality and safety control of functional dairy products. *Molochnaya promyshlennost'*, 2020;6:12–15. doi: 10.31515/1019-8946-2020-06-12-15. EDN RRQJFM (in Russ.).

© Карпич Д. А., 2025

Статья поступила в редакцию 18.11.2025; одобрена после рецензирования 10.12.2025; принята к публикации 12.12.2025.

The article was submitted 18.11.2025; approved after reviewing 10.12.2025; accepted for publication 12.12.2025.

Информация об авторе

Карпич Денис Александрович, соискатель, Дальневосточный государственный аграрный университет; старший преподаватель, Дальневосточное высшее общевойсковое командное Ордена Жукова училище имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского, denis.karpich@mail.ru

Information about the author

Denis A. Karpich, Degree Seeker, Far Eastern State Agrarian University; Senior Lecturer, Far Eastern Higher Combined Arms Command Order of Zhukov School named after Marshal of the Soviet Union K. K. Rokossovsky, denis.karpich@mail.ru

Научная статья

УДК 546.23

EDN XYLMIR

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-116-124>

Микробный синтез наноселена

**Ирина Сергеевна Хамагаева¹, Людмила Михайловна Качанина²,
Наталья Александровна Замбалова³, Анна Сергеевна Столярова⁴**

^{1, 2, 3, 4} Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия

¹ ikhamagaeva@mail.ru, ² lm.kaluda@mail.ru,

³ zambalova2015@mail.ru, ⁴ anna_sergsto@mail.ru

Аннотация. Развитие методов «зеленого» синтеза для получения безопасных и биосовместимых наноматериалов является ключевой задачей нанотехнологий. Особый интерес представляет использование пробиотических культур для синтеза наночастиц селена, что позволяет объединить полезные свойства пробиотиков с уникальной биологической активностью наноформы микроэлемента. Целью исследований явился синтез и характеристика наночастиц селена, полученных с использованием пробиотических бактерий *Bifidobacterium adolescentis DSM20083* и *Propionibacterium shermannii AC2503*. Биосинтез наноселена осуществляли путем инкубации бактериальных клеток с селенитом натрия (Na_2SeO_3). Полученные наночастицы характеризовали с помощью просвечивающей электронной микроскопии и лазерной дифракции. Установлено, что штаммы пробиотиков восстанавливают селенит натрия до элементарного селена с формированием сферических аморфных наночастиц, стабилизованных биомолекулами. Впервые продемонстрирована возможность получения стабильных и биологически активных наночастиц селена с использованием пробиотических штаммов. Показано, что биогенный наноселен обладает низкой токсичностью; это делает его перспективным для создания синергических пробиотических препаратов и функциональных пищевых продуктов нового поколения.

Ключевые слова: наноселен, биосинтез, пробиотики *Bifidobacterium adolescentis DSM20083* и *Propionibacterium shermannii AC2503*, функциональное питание

Для цитирования: Хамагаева И. С., Качанина Л. М., Замбалова Н. А., Столярова А. С. Микробный синтез наноселена // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 116–124. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-116-124>.

Original article

Microbial synthesis of nanoselenium

Irina S. Khamagaeva¹, Lyudmila M. Kachanina²,

Natalya A. Zambalova³, Anna S. Stolyarova⁴

^{1, 2, 3, 4} East Siberian State University of Technology and Management
Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Russian Federation

¹ ikhamagaeva@mail.ru, ² lm.kaluda@mail.ru,

³ zambalova2015@mail.ru, ⁴ anna_sergsto@mail.ru

Abstract. The development of green synthesis methods for the production of safe and biocompatible nanomaterials is a key task of nanotechnology. The use of probiotic cultures for the synthesis of selenium nanoparticles is of scientific and practical importance. This makes it possible to combine the beneficial properties of probiotics with the unique biological activity of the microelement nanoform. The aim of the research is the synthesis and characterization of selenium nanoparticles obtained using probiotic bacteria *Bifidobacterium adolescentis DSM20083* and

Propionibacterium shermannii AC2503. Nanoselenium biosynthesis was performed by incubating bacterial cells with sodium selenite (Na_2SeO_3). The resulting nanoparticles were characterized using transmission electron microscopy and laser diffraction. It has been established that probiotic strains reduce sodium selenite to elementary selenium with the formation of spherical amorphous nanoparticles stabilized by biomolecules. The possibility of obtaining stable and biologically active selenium nanoparticles using probiotic strains has been shown for the first time. It is proved that biogenic nanoselenium has low toxicity. This makes it promising for the creation of synergistic probiotic drugs and functional food products of a new generation.

Keywords: nanoselenium, biosynthesis, probiotics *Bifidobacterium adolescentis DSM20083* and *Propionibacterium shermannii AC2503*, functional food

For citation: Khamagaeva I. S., Kachanina L. M., Zambalova N. A., Stolyarova A. S. Microbial synthesis of nanoselenium. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:116–124. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-116-124>.

Введение. Селен как важный микроэлемент играет фундаментальную роль в организме человека и животных, участвуя в обмене веществ и выполняя антиоксидантную, антивозрастную, противоопухолевую и иммунную регуляции [1–5]. Однако между дефицитом, оптимальным потреблением и токсичностью селена существует очень узкий диапазон. Традиционные неорганические (селенит, селенат) и органические (селенметионин) формы селена обладают относительно низкой биодоступностью и высокой токсичностью при передозировке, что стимулирует поиск новых более безопасных и эффективных норм этого микроэлемента [6, 7].

В последнее десятилетие внимание исследователей привлекает элементарный селен вnanoформе (nano-Se). Наночастицы селена демонстрируют значительно более низкую токсичность по сравнению с ионными формами, при этом обладают высокой биологической активностью. Они эффективно имитируют активность глутатионпероксидазы и проявляют выраженные антиоксидантные, противоопухолевые, противовоспалительные и antimикробные свойства [8, 9].

Ключевой проблемой до недавнего времени являлся синтез стабильных и биосовместимых наночастиц. Классические химические методы синтеза наноселена часто связаны с использованием восстановителей и стабилизаторов, что ограничивает их применение в медицине и пищевой промышленности [4, 7, 10].

Альтернативой выступает «зеленый» синтез с использованием микроорганизмов. Микробный синтез происходит в мягких условиях, экологически безопасен

и позволяет получить наночастицы, стабилизированные белками, полисахарами, что придает им высокую коллоидную стабильность и биосовместимость [11].

Особый интерес в этом направлении исследований представляют пробиотические микроорганизмы. Их использование для синтеза наночастиц селена позволяет объединить преимущества биогенного подхода с доказанными полезными свойствами самих пробиотиков. Восстановливая токсичные селенит-ионы до нетоксичного наноселена, пробиотики не только детоксифицируют среду, но и производят уникальный симбиотический продукт, сочетающий пробиотический эффект с терапевтическим потенциалом.

Несмотря на растущий интерес, вопросы, связанные с оптимизацией условий синтеза, характеристикой свойств, получаемых «пробиотических» наночастиц и изучением их биологической активности, остаются недостаточно изученными.

Целью исследований явился синтез наночастиц с использованием бифидобактерий и пропионовокислых бактерий, а также их комплексная характеристика.

Материалы и методы исследований. В работе использовали активизированные культуры пробиотических микроорганизмов *Bifidobacterium adolescentis DSM20083* и *Propionibacterium shermannii AC2503* [12]. Синтез наночастиц селена проводили путем инкубации штаммов соответствующих культур.

В опытные образцы вносили стерильный раствор Na_2SeO_3 . Инкубацию проводили при температуре 37 °C для бифидобактерий; 30 °C – для пропионо-

вокислых бактерий в течение 24 часов. Контролем служили питательные среды без добавления селенита натрия. Визуальным признаком синтеза наночастиц селена служило появление характерного красно-оранжевого окрашивания.

Форму и размер наночастиц селена анализировали на просвечивающем электронном микроскопе Hitachi (Япония) при ускоренном напряжении 100 кэВ. Для определения размера наночастиц в коллоидном растворе применяли лазерный дифракционный анализатор SLAD-7500 nano. Он является точным и высокочувствительным инструментом для измерения области ультрамалых и высоких концентраций.

Лазерная дифракция – широко применяемая технология анализа размеров частиц, составляющих от 7 до 800 мкм. Это общепризнанная технология, требования к которой определяются международным стандартом ISO 13320:2020 «Гранулометрический анализ. Методы лазерной дифракции».

Все эксперименты проводили в трех независимых повторностях ($n=3$). Данные представлены как средние стандартные отклонения. Статистическую значимость различия определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента, считая различия достоверности при $p < 0,05$. Обработку данных выполняли с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Инкубация клеток бифидобактерий и пропионовокислых бактерий в присутствии селена привела к появлению интенсивного красно-оранжевого окрашивания клеточной суспензии в течение 20–24 часов, в то время как контрольные образцы без селена оставались бесцветными. Изменение цвета является классическим индикатором восстановления ионов (Se^0) с образованием наночастиц [6, 13].

Окрашивание проявлялось более интенсивно с увеличением дозы селенита, что указывает на повышение восстановительной активности микроорганизмов. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, демонстрирующими способность молочнокислых бактерий детоксифицировать среду от селенита [9, 14].

В дальнейших исследованиях методом лазерной дифракции изучали формирование наночастиц селена пробиотическими микроорганизмами.

Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2. Из данных таблицы 1 видно, что максимальный выход наночастиц селена отмечен при дозе 2 мг/мл. Установлен большой разброс наночастиц, находящийся в пределах от 7 до 830 нм; при этом 24 % составляют мелкие частицы – от 7 до 36 нм.

Дезинтеграция клеток пропионовокислых бактерий приводит к незначительному увеличению выхода наночастиц селена; данное увеличение касается преимущественно наиболее мелких частиц.

Наибольший выход наноселена при инкубации бифидобактерий (штамм *Bifidobacterium adolescentis DSM20083*) составляет 71 %, а при дальнейшем повышении дозы до 5 мг/мл наблюдается резкое снижение его выхода, который достигает лишь 48 %. Дезинтеграция приводит к незначительному увеличению выхода наночастиц.

Методом электронного микроскопирования изучены форма и размеры частиц, что показано на рисунке 1.

При микробном синтезе наноселена видны наносфера различной формы, покрытые белковой оболочкой, которая обеспечивает их стабильность. Статистический анализ микрофотографий показал, что наночастицы, синтезированные бифидобактериями, имели средний размер ($130 \pm 7,5$) нм, в то время как размер частиц, полученных пропионовокислыми бактериями, составил ($115 \pm 4,7$) нм ($p < 0,05$).

В дальнейших исследованиях изучали влияние селенита натрия на морфологию бифидобактерий. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

Изменение морфологии бифидобактерий с увеличением дозы селенита натрия свидетельствует о снижении токсического действия в результате образования нуль-валентного селена. Из данных микрокартины (рис. 2, б) видно, что стандартные палочковидные и кокковидные клетки бифидобактерий при дозе селенита 15 мкг/мл преобразуются в агрегированные ветвящиеся, булавовидные атипичные формы. Такая биотрансформация

Таблица 1 – Характеристика синтезированных пропионовокислыми бактериями наночастиц селена**Table 1 – Characteristics of selenium nanoparticles synthesized by propionic acid bacteria**

Количество в растворе селениита натрия, мг/мл	Размер наночастиц селена, нм	Выход частиц, %	Общий выход частиц, %
<i>Без дезинтеграции</i>			
1	136–286	63,60	63,60
2	7–36	24,00	72,22
	230–367	12,75	
	412–585	15,43	
	657–830	20,04	
5	7–28	9,54	52,74
	230–367	11,83	
	412–585	13,12	
	657–830	18,25	
<i>С дезинтеграцией</i>			
1	136–286	68,30	68,30
2	7–36	26,71	76,49
	230–367	13,43	
	412–585	16,14	
	657–830	20,21	

Таблица 2 – Характеристика синтезированных бифидобактериями наночастиц селена**Table 2 – Characteristics of selenium nanoparticles synthesized by bifidobacteria**

Количество в растворе селениита натрия, мг/мл	Размер наночастиц селена, нм	Выход частиц, %	Общий выход частиц, %
<i>Без дезинтеграции</i>			
1	70–95	21,20	65,30
	123–321	44,10	
<i>С дезинтеграцией</i>			
2	5–34	18,35	71,05
	220–387	15,47	
	389–537	16,75	
	648–790	20,48	
5	5–31	6,35	48,85
	220–387	10,48	
	389–537	13,57	
	648–790	18,45	
1	70–95	26,33	68,70
	123–321	43,37	
2	5–34	22,00	75,56
	220–387	15,12	
	389–537	17,36	
	648–790	21,01	

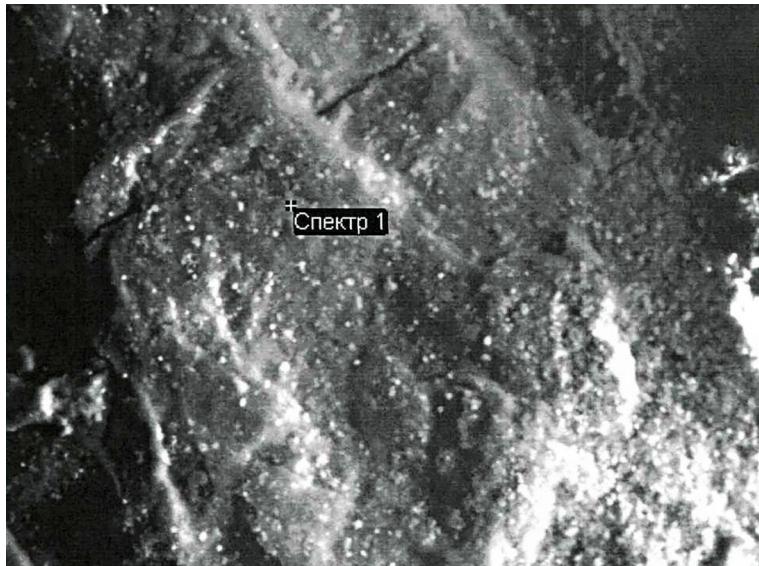


Рисунок 1 – Наночастицы селена, полученные бифидобактериями *Bifidobacterium Adolescentis DSM 20083*

Figure 1 – Selenium nanoparticles produced by *Bifidobacterium Adolescentis DSM 20083*

клеток вероятно связана с адаптацией бифидобактерий к токсическому действию селенита.

При дозе селенита 50 мкг/мл с началом образования наноселена и снижением его токсичности наблюдается дезагрегация клеток (рис. 2, в). При максимальной дозе селенита 1 мг/мл питательная среда окрашивается в красно-оранжевый цвет (рис. 2, г), что демонстрирует переход селенита в нуль-валентный селен Se^0 ; при этом морфология клеток приобретает первоначальную форму (рис. 2, а).

Полученные результаты свидетельствуют, что в присутствии наноселена морфология клеток не подвергается изменениям и он не оказывает токсического действия на бифидобактерии.

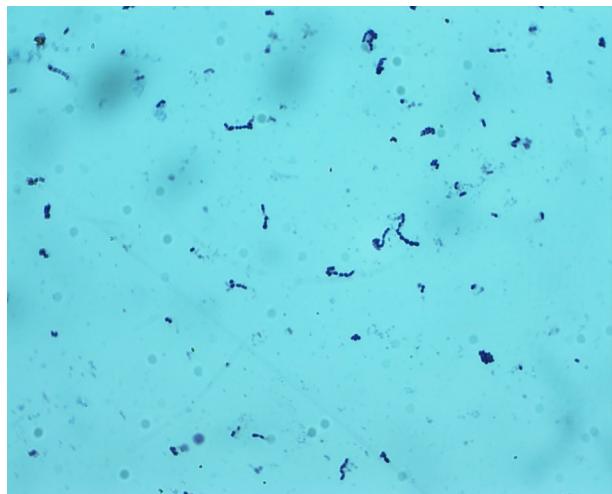
Ключевым результатом является тот факт, что процесс биосинтеза совмещает детоксикацию вредного селенита с производством биосовместимой и биоактивной формой наноселена самими пробиотическими микроорганизмами. Это открывает путь к созданию синергических комплексов (пробиотик + наноселен), где полезный эффект бактерий усиливается терапевтическим действием наноселена.

Характеристика наноселена, полученного с применением микробного синтеза, представлена в таблице 3.

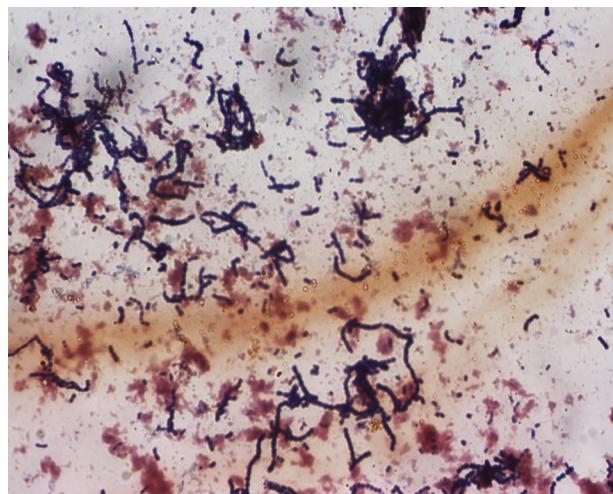
Полученные данные подтверждают способность штаммов пробиотических микроорганизмов к эффективному восстановлению селенита натрия с образованием стабильных наночастиц элементарного селена (Se^0) красно-оранжевого цвета. Оптимальными параметрами для синтеза являлись доза селенита 2 мг/мл и время инкубации 24 часа. Санитарно-гигиенические показатели наноселена соответствует требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Основные преимущества микробного синтеза по сравнению с физико-химическими методами включают: экологичность; не требует высоких температур, давления и токсичных химических реагентов; энергоэффективность; процесс происходит в мягких условиях (при температуре 30–37 °C, нормальном давлении); биосовместимость (наночастицы, синтезируемые бактериями, имеют естественное биологическое покрытие (белки, полисахариды), которые стабилизируют их, повышают усвояемость и биодоступность по сравнению с химически синтезируемыми частицами).

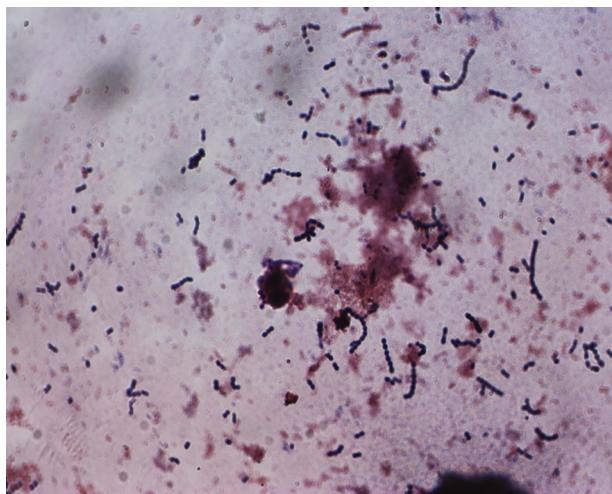
Полученный наноселен представляет собой стабильную коллоидную форму оранжево-красного цвета, его выход составляет 76 %.



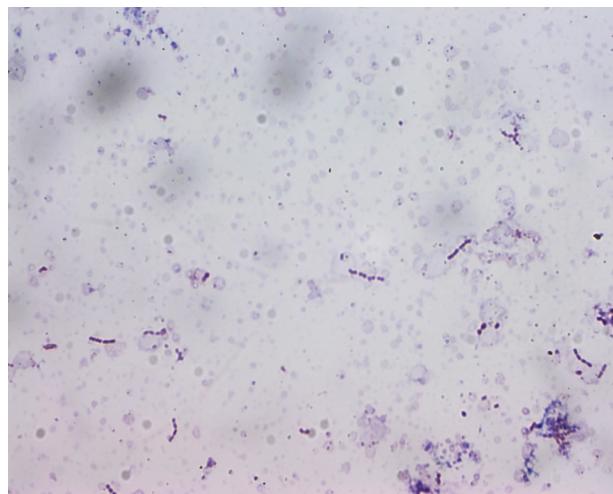
контроль (без селена)
control (without selenium)



концентрация селена – 15 мкг/мл
selenium concentration – 15 micrograms/ml



концентрация селена – 50 мкг/мл
selenium concentration – 50 micrograms/ml



концентрация селена – 1 мг/мл
selenium concentration – 1 mg/ml

Рисунок 2 – Штамм *B. Adolescentis* DSM 20083, ATCC 15703
Figure 2 – Strain *B. Adolescentis* DSM 20083, ATCC 15703

Заключение. Впервые продемонстрирована эффективная способность штаммов пробиотиков *Bifidobacterium adolescentis* и *Propionibacterium shermannii* осуществлять биовосстановление токсичного селениита натрия Na_2SeO_3 с образованием стабильных наночастиц элементарного селена.

Установлены оптимальные условия получения (культивирования) пробиотических микроорганизмов: инкубация при температуре 30–37 °C в течение 24 часов.

Комплекс методов (электронная микроскопия, лазерная дифракция) выявил, что синтезируемые наночастицы являются

сферическими, аморфными и стабилизованными биомолекулами; это является ключевым фактором для их последующего практического применения. Установлено, что размер наночастиц, производимых разными штаммами пробиотических микроорганизмов, зависит не только от штаммовой принадлежности пробиотиков, но и условий культивирования.

Результаты работы доказывают перспективность использования пробиотиков в качестве экологичных и безопасных био-nanoфабрик для производства функциональных наноматериалов и продуктов питания.

Таблица 3 – Показатели качества биологически активной добавки с наноселеном, полученной с использованием пробиотических микроорганизмов**Table 3 – Quality indicators of biologically active additives with nanoselenium obtained using probiotic microorganisms**

Наименование показателей	Значения
Консистенция и внешний вид	однородная; допускается отделение сыворотки
Цвет	красно-оранжевый
Предельное значение рН, ед.	4,5–7,0
Температура при выпуске с предприятия, не более °С	4±2
Содержание наночастиц селена, мг/л	1,5
Объем продукта (см ³), в котором не допускаются: бактерии группы кишечной палочки (колиформы) <i>S. aureus</i> патогенные микроорганизмы (включая сальмонеллы)	10 10 50
Дрожжи и плесени, не более КОЕ/см ³	5

Список источников

1. Решетник Е. И., Захарова Л. М., Пакусина А. П., Пашина Л. Л., Школьников П. Н. Разработки инновационно новых продуктов функционального назначения // Технология и твороведение инновационных пищевых продуктов. 2024. № 3 (86). С. 45–53. doi: 10.33979/2219-8466-2024-86-3-45-53. EDN YTWQUF.
2. Bai K., Hong B., He J., Hong Zh., Tan R. Preparation and antioxidant properties of selenium nanoparticles-loaded chitosan microspheres // International Journal of Nanomedicine. 2017. No. 12. P. 4527–4539. <https://doi.org/10.2147/IJN.S129958>.
3. Rayman M. P. The importance of selenium to human health // Lancet. 2000. No. 356 (9225). P. 233–241. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02490-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02490-9).
4. Schomburg L. Dietary selenium and human health // Nutrients. 2016. Vol. 9. No. 1. P. 22. doi: 10.3390/nu9010022.
5. Xu C., Guo Y., Qiao L., Ma L., Cheng Y., Roman A. Biogenic synthesis of novel functionalized selenium nanoparticles by *Lactobacillus casei* ATCC 393 and its protective effects on intestinal barrier dysfunction caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88 // Frontiers in Microbiology. 2018. No. 9. P. 1129. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01129>.
6. Neha Bisht, Priyanka Phalswal, Pawan K. Khanna. Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications // Materials Advances. 2022. Vol. 3. Iss. 3. P. 1415–1431. <https://doi.org/10.1039/d1ma00639h>.
7. Quintana M., Haro-Poniatowski E., Morales J., Batina N. Synthesis of selenium nanoparticles by pulsed laser ablation // Applied Surface Science. 2002. Vol. 195. No. 1–4. P. 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(02\)00549-4](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(02)00549-4). EDN LXYHRR.
8. Ahmad M. S., Yasser M. M., Sholkamy E. N., Ali A. M., Mehanni M. M. Anticancer activity of biostabilized selenium nanorods synthesized by *Streptomyces bikiniensis* strain Ess_amA-1 // International Journal of Nanomedicine. 2015. No. 10. P. 3389–401. doi: 10.2147/IJN.S82707.
9. Wadhwani S. A., Shedbalkar U. U., Singh R., Chopade B. A. Biogenic selenium nanoparticles: Current status and future prospects // Applied Microbiology and Biotechnology. 2016. Vol. 100. No. 6. P. 2555–2566. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7300-7>.
10. Kessi J., Hanselmann K. W. Similarities between the abiotic reduction of selenite with glutathione and the dissimilatory reaction mediated by *Rhodospirillum rubrum* and *Escherichia coli* // Journal of Biological Chemistry. 2004. Vol. 279. No. 49. P. 50662–50669. doi: 10.1074/jbc.M405887200.

11. Van Overschelde O., Guisbiers G., Snyders R. Green synthesis of selenium nanoparticles by excimer pulsed laser ablation in water // *Apl Materials*. 2013. Vol. 1. No. 4. doi: 10.1063/1.4824148. EDN SPIIJL.
12. Патент № 2333655 Российской Федерации. Способ получения селенсодержащей биологически активной добавки : № 2006127216/13 : заявл. 26.07.2006 : опубл. 20.09.2008 / Хамагаева И. С., Кузнецова О. С. Бюл. № 26. 10 с.
13. Butler C. S., Debieux C. M., Dridge E. J., Splatt P., Wright M. Biominerization of selenium by the selenate-respiring bacterium *Thauera selenatis* // *Biochemical Society Transactions*. 2012. Vol. 40. No. 6. P. 1239–1243. doi: 10.1042/BST20120087.
14. Husen A., Siddiqi K. S. Plants and microbes assisted selenium nanoparticles: Characterization and application // *Journal of Nanobiotechnology*. 2014. No. 12. P. 28. <https://doi.org/10.1186/s12951-014-0028-6>.

References

1. Reshetnik E. I., Zakharova L. M., Pakusina A. P., Pashina L. L., Shkolnikov P. N. Development of innovative new functional products. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov*, 2024;3(86):45–53. doi: 10.33979/2219-8466-2024-86-3-45-53. EDN YTQWUF (in Russ.).
2. Bai K., Hong B., He J., Hong Zh., Tan R. Preparation and antioxidant properties of selenium nanoparticles-loaded chitosan microspheres. *International Journal of Nanomedicine*, 2017;12:4527–4539. <https://doi.org/10.2147/IJN.S129958>.
3. Rayman M. P. The importance of selenium to human health. *Lancet*, 2000;356(9225): 233–241. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02490-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02490-9).
4. Schomburg L. Dietary selenium and human health. *Nutrients*, 2016;9;1:22. doi: 10.3390/nu9010022.
5. Xu C., Guo Y., Qiao L., Ma L., Cheng Y., Roman A. Biogenic synthesis of novel functionalized selenium nanoparticles by *Lactobacillus casei* ATCC 393 and its protective effects on intestinal barrier dysfunction caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88. *Frontiers in Microbiology*, 2018;9:1129. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01129>.
6. Neha Bisht, Priyanka Phalswal, Pawan K. Khanna. Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*, 2022;3;3:1415–1431. <https://doi.org/10.1039/d1ma00639h>.
7. Quintana M., Haro-Poniatowski E., Morales J., Batina N. Synthesis of selenium nanoparticles by pulsed laser ablation. *Applied Surface Science*, 2002;195;1–4:175–186. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(02\)00549-4](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(02)00549-4). EDN LXYHRR.
8. Ahmad M. S., Yasser M. M., Sholkamy E. N., Ali A. M., Mehanni M. M. Anticancer activity of biostabilized selenium nanorods synthesized by *Streptomyces bikiniensis* strain Ess_amA-1. *International Journal of Nanomedicine*, 2015;10:3389–401. doi: 10.2147/IJN.S82707.
9. Wadhwani S. A., Shedbalkar U. U., Singh R., Chopade B. A. Biogenic selenium nanoparticles: Current status and future prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2016;100;6:2555–2566. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7300-7>.
10. Kessi J., Hanselmann K. W. Similarities between the abiotic reduction of selenite with glutathione and the dissimilatory reaction mediated by *Rhodospirillum rubrum* and *Escherichia coli*. *Journal of Biological Chemistry*, 2004;279;49:50662–50669. doi: 10.1074/jbc.M405887200.
11. Van Overschelde O., Guisbiers G., Snyders R. Green synthesis of selenium nanoparticles by excimer pulsed laser ablation in water. *Apl Materials*, 2013;1;4. doi: 10.1063/1.4824148. EDN SPIIJL.
12. Khamagaeva I. S., Kuznetsova O. S. Method for producing a selenium-containing dietary supplement. *Patent RF, No. 2333655 patents.google.com* 2008 Retrieved from <https://patents.google.com/patent/RU2333655C2/ru> (Accessed 10 August 2025) (in Russ.).

13. Butler C. S., Debieux C. M., Dridge E. J., Splatt P., Wright M. Biominerization of selenium by the selenate-respiring bacterium *Thauera selenatis*. Biochemical Society Transactions, 2012;40;6:1239–1243. doi: 10.1042/BST20120087.

14. Husen A., Siddiqi K. S. Plants and microbes assisted selenium nanoparticles: Characterization and application. Journal of Nanobiotechnology, 2014;12:28. <https://doi.org/10.1186/s12951-014-0028-6>.

© Хамагаева И. С., Качанина Л. М., Замбалова Н. А., Столярова А. С., 2025

Статья поступила в редакцию 12.11.2025; одобрена после рецензирования 08.12.2025; принята к публикации 10.12.2025.

The article was submitted 12.11.2025; approved after reviewing 08.12.2025; accepted for publication 10.12.2025.

Информация об авторах

Хамагаева Ирина Сергеевна, доктор технических наук, профессор, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>, Author ID: 545158, ikhamagaeva@mail.ru;

Качанина Людмила Михайловна, кандидат технических наук, доцент, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Author ID: 561053, lm.kaluda@mail.ru;

Замбалова Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Author ID: 586980, zambalova2015@mail.ru;

Столярова Анна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Author ID: 443669, anna_sergsto@mail.ru

Information about the authors

Irina S. Khamagaeva, Doctor of Technical Sciences, Professor, East Siberian State University of Technology and Management, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>, Author ID: 545158, ikhamagaeva@mail.ru;

Lyudmila M. Kachanina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, East Siberian State University of Technology and Management, Author ID: 561053, lm.kaluda@mail.ru;

Natalya A. Zambalova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, East Siberian State University of Technology and Management, Author ID: 586980, zambalova2015@mail.ru;

Anna S. Stolyarova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, East Siberian State University of Technology and Management, Author ID: 443669, anna_sergsto@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 634.7

EDN ZRYRNU

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-125-131>

Ионный состав плодов некоторых растений семейства Розоцветные (*Rosaceae*)

Ольга Викторовна Чагарова¹, Ольга Александровна Косицына²,

Петр Евгеньевич Осипов³

^{1, 2, 3} Благовещенский государственный педагогический университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ olga_chagarova.bgpu@mail.ru, ² ivanolga2005@mail.ru, ³ prorector.ax@bgpu.ru

Аннотация. Плодово-ягодные культуры, обладая богатым минеральным и органическим составом, благоприятно влияют на здоровье человека. Концентрация химических веществ в них зависит от района произрастания. В Амурской области ассортимент плодово-ягодных культур ограничен неблагоприятными климатическими условиями, в связи с чем на приусадебных участках в основном широко распространены земляника ананасная, вишня войлочная и ирга китайская. Исследователями Дальневосточного государственного аграрного университета изучался органический состав плодово-ягодной продукции, но при этом не рассматривался минеральный. Плоды земляники ананасной, вишни войлочной и ирги китайской в фазе биологической спелости, собранные в летний период 2024 г., замораживали в бытовой морозильной камере при температуре минус 18 °C. Срок хранения плодов составил шесть месяцев. Концентрацию катионов и анионов определяли методом капиллярного электрофореза с учетом требований ГОСТ Р 56374–2015 «Определение массовой доли катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция методом капиллярного электрофореза» и ГОСТ Р 56375–2015 «Определение массовой доли хлорид-, сульфат-, нитрат- и фосфат-ионов методом капиллярного электрофореза». Результаты показали, что плоды вишни войлочной богаты ионами магния и натрия, концентрация которых достигает соответственно 5,5 и 25,0 мг/100 г. Максимальное содержание хлоридов обнаружено в плодах вишни войлочной – 259,00 мг/100 г. Концентрация сульфат ионов меняется в пределах от 1,60 мг/100 г у ирги китайской до 121,60 мг/100 г у земляники ананасной. При этом земляника ананасная накапливает наименьшее количество нитратов в плодах – 2,22 мг/100 г. Полученные данные подчеркивают биологическую активность минеральных веществ, что может способствовать улучшению состояния здоровья населения региона. Работа показала необходимость дальнейших исследований в области пищевой ценности местных ягод и плодов в условиях Амурской области.

Ключевые слова: ионный состав, земляника ананасная, вишня войлочная, ирга китайская, плоды

Для цитирования: Чагарова О. В., Косицына О. А., Осипов П. Е. Ионный состав плодов некоторых растений семейства Розоцветные (*Rosaceae*) // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 125–131. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-125-131>.

Original article

Ionic composition of fruits of some plants of the *Rosaceae* family

Olga V. Chagarova¹, Olga A. Kositsyna², Petr E. Osipov³

^{1, 2, 3} Blagoveshchensk State Pedagogical University

Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ olga_chagarova.bgpu@mail.ru, ² ivanolga2005@mail.ru, ³ prorector.ax@bgpu.ru

Abstract. Fruit and berry crops have a positive effect on human health due to their rich mineral and organic composition. In the Amur region, the range of these crops is limited by unfavorable climatic conditions, which is why pineapple strawberries, felt cherries and Chinese irga are mainly common in household plots. Despite sufficient research on the organic composition of fruit and berry products, the issues of mineral composition have been poorly studied. The fruits of the corresponding crops in the biological ripeness phase, harvested in the summer of 2024, were frozen in a household freezer at a temperature of minus 18 °C. The shelf life of the fruit was six months. The concentration of cations and anions was determined by capillary electrophoresis, taking into account the requirements of regulatory and technical documentation. The results showed that felt cherry fruits are rich in magnesium and sodium ions, the concentration of which reaches 5.5 and 25.0 mg/100 g, respectively. The maximum chloride content found in felt cherry fruits is 259.0 mg/100 g. The concentration of sulfate ions varies from 1.60 mg/100 g (Chinese irga) to 121.60 mg/100 g (pineapple strawberries). Pineapple strawberries contain the least amount of nitrates – 2.22 mg/100 g. The data obtained indicate the biological activity of minerals, which may contribute to improving the health of the region's population. Thus, further research is required in the field of nutritional value of local fruit and berry crops.

Keywords: ionic composition, pineapple strawberries, felt cherries, Chinese irga, fruits

For citation: Chagarova O. V., Kositsyna O. A., Osipov P. E. Ionic composition of fruits of some plants of the *Rosaceae* family. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:125–131. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-125-131>.

Введение. Плодово-ягодные культуры имеют большое значение в питании человека. Они богаты минеральными веществами, сахарами, клетчаткой, органическими кислотами, витаминами; нормализуют обмен веществ, способствуют более полному перевариванию пищи, улучшают перистальтику кишечника. Употребление их в сыром виде дает возможность практически полностью использовать содержащиеся в них витамины, микроэлементы и ферментные вещества. Концентрация химических веществ в плодах определяется климатическими особенностями региона произрастания, так как такие факторы, как температура, количество влаги и солнечного света, влияют на процессы синтеза и накопления этих веществ в растениях [1].

Амурская область расположена в неблагоприятной природно-климатической зоне и характеризуется резким сезонным колебанием температуры, летними затяжными дождями, неглубоким снежным покровом, что не позволяет выращивать широкий ассортимент плодово-ягодных культур. В регионе плодово-ягодная продукция выращивается преимущественно на частных подворьях, где повсеместно

встречаются земляника ананасная, вишня войлочная и ирга китайская.

Учеными Дальневосточного государственного аграрного университета, Амурского государственного университета проведено изучение химического состава плодов, направленное на выявление органического состава (белки, углеводы, витамины и т. д.), концентрации тяжелых металлов [2–5]. Однако ими не рассматривался минеральный (ионный) состав.

Цель работы – определение ионного состава замороженных плодов растений семейства Розоцветные (*Rosaceae*), выращенных на приусадебных участках Амурской области.

Для достижения указанной цели поставлена задача установления содержания катионов и анионов в замороженных плодах ирги китайской, земляники ананасной, вишни войлочной.

Материал и методы исследований. Работа выполнена в эколого-химической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета. Объектом исследований явились плоды ирги китайской (*Amelanchier sinica*), земляники ананасной (*Fragaria × ananassa*),

вишни войлочной (*Cerasus tomentosa*). Латинские названия таксонов растений в работе приведены согласно Plantarium.

Плоды, собранные в период лета 2024 г., после наступления биологической зрелости были заморожены в бытовой морозильной камере при температуре минус 18 °С. Хранение осуществлялось в течение шести месяцев.

Концентрация катионов и анионов была определена методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-205». При этом учитывались требования ГОСТ Р 56374–2015 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция методом капиллярного электрофореза», ГОСТ Р 56375–2015 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли хлорид-, сульфат-, нитрат- и фосфат-ионов методом капиллярного электрофореза».

Результаты исследований и их обсуждение. После пробоподготовки плоды вишни войлочной, земляники садовой и ирги китайской подверглись анализу. Результаты определения ионного состава представлены в таблице 1.

Минеральные вещества в плодах находятся в легкоусвояемой, водорастворимой форме, а также обладают высокой биологической активностью [6].

Ион калия играет важную роль в поддержании осмотического давления, участвует в передаче нервного импульса в клетке. Физиологическая норма калия для взрослого человека составляет примерно 3,50–5,00 г в сутки [7]. Наибольшее содержание ионов калия обнаружено в плодах ирги китайской (3 050,08 мг/100 г плодов), наименьшее – в плодах вишни войлочной (808,40 мг/100 г).

Ион натрия жизненно необходим всем живым организмам, но его избыток вызывает необратимые последствия. Норма потребления натрия в сутки для взрослого человека составляет 1 500 мг [8]. Фактическое содержание данного иона в изучаемых плодах растений колеблется в пределах 5,20–25,00 мг/100 г; максимальное содержание Na^+ обнаружено в плодах вишни войлочной.

Магний – важнейший компонент всех биохимических реакций в организме. Он участвует в процессах синтеза ДНК, регулирует сокращение сердечной мышцы и уровень глюкозы в крови [9]. Суточная норма магния составляет 310–420 мг (в зависимости от пола и возраста). Наиболее высокое содержание ионов магния отмечено для вишни войлочной (5,50 мг/100 г), минимальное (0,84 мг/100 г) характерно для плодов земляники ананасной.

Кальций необходим для правильно-го формирования костной ткани, зубов, он помогает в процессах свертываемости

Таблица 1 – Содержание ионов в плодах растений семейства Розоцветные
Table 1 – Ion content in fruits of plants of the Rosaceae family

В мг/100 г плодов (in mg/100 g of fruits)

Ион	Вишня войлочная	Земляника ананасная	Ирга китайская
<i>Катионы</i>			
Калий	808,40±3,62	1 561,00±3,90	3 050,08±9,89
Натрий	25,00±0,63	5,20±0,03	8,93±0,36
Магний	5,50±0,28	0,84±0,01	4,84±0,04
Кальций	203,00±2,89	58,40±0,09	261,65±0,98
<i>Анионы</i>			
Хлориды	259,00±0,22	5,23±0,27	9,32±0,41
Сульфаты	5,10±0,23	121,60±1,17	1,60±0,03
Нитраты	230,00±2,09	2,22±0,64	168,00±1,16
Фосфаты	1 770,00±1,12	13,30±1,15	14,46±0,86

крови. Потребность в кальции зависит от пола и возраста человека: лицам старше 50 лет рекомендуется потреблять 1 200, подросткам – 1 300 мг в сутки [10]. Максимальное содержание ионов кальция в 100 г плодов характерно для плодов ирги китайской – 261,65 мг.

Соотношение катионов в плодах изучаемых растений дано на рисунке 1. Установлено, что соотношение основных катионов значительно различается. Так, соотношение одновалентных ионов K^+/Na^+ составляет: 32,33 (вишня войлочная), 300,19 (земляника ананасная), 341,55 (ирга китайская); двухвалентных катионов Ca^{2+}/Mg^{2+} : 36,90 (вишня войлочная), 69,52 (земляника ананасная) и 54,06 (ирга китайская).

Анионы в пище играют важную роль в различных биохимических процессах и могут влиять на вкус, текстуру и сохранность продуктов. В изучаемых плодах были определены концентрации хлорид-, сульфат-, нитрат- и фосфат-ионов.

Хлорид-ион помогает поддерживать осмотическое давление и баланс жидкости в клетках и тканях. Однако его избыток может привести к отравлению и нарушению процессов метаболизма [11].

Среднесуточное потребление хлоридов для взрослого человека должно достигать 2 300–4 000 мг.

Концентрация хлорид-ионов в плодах земляники ананасной была минимальной и составила 5,23 мг/100 г плодов; максимальное содержание отмечено для плодов вишни войлочной – 259,00 мг/100 г.

Сульфаты участвуют во многих метаболических процессах и основным их источником является белковая пища. Среднесуточное потребление сульфатов с пищей для взрослого человека составляет около 100–150 мг. Концентрация сульфат-ионов изменяется от 1,60 мг/100 г (ирга китайская) до 121,60 мг/100 г (земляника ананасная).

Основная масса нитратов попадает в организм человека с растительной пищей (овощами, зеленью, фруктами). В животных продуктах (мясо, молоко, рыба) содержание нитратов незначительно. В плодах земляники ананасной обнаружено минимальное содержание нитратов, составившее 2,22 мг/100 г.

Суточная потребность взрослого человека в фосфоре составляет 800 мг в сутки. Содержание фосфат-ионов в мякоти

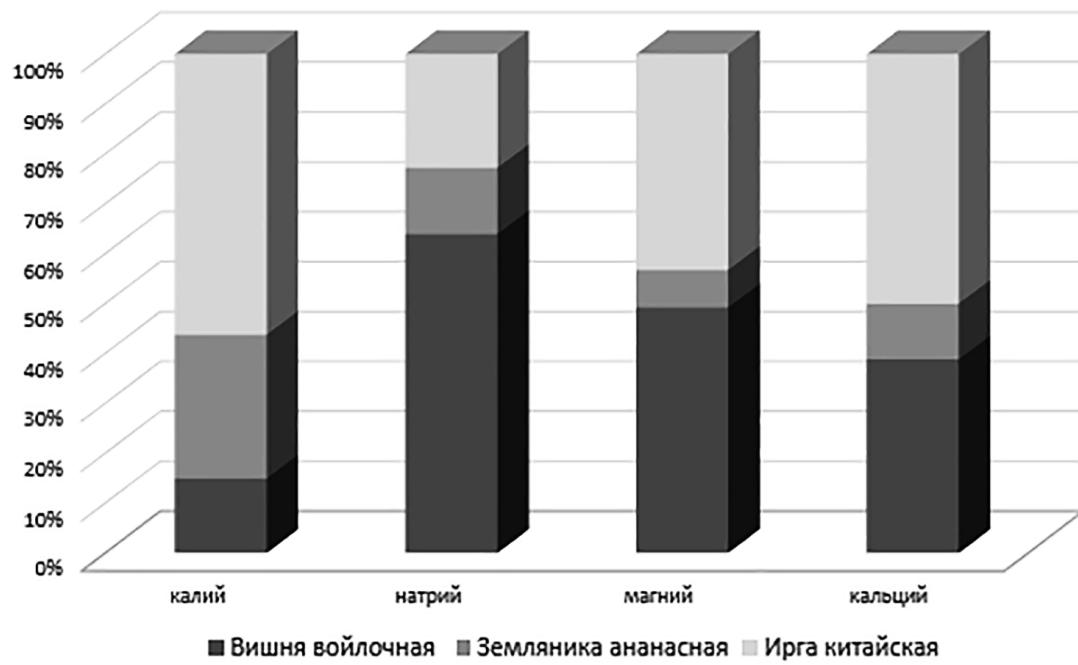


Рисунок 1 – Соотношение катионов в плодах растений семейства Розоцветные
Figure 1 – The ratio of cations in the fruits of plants of the *Rosaceae* family

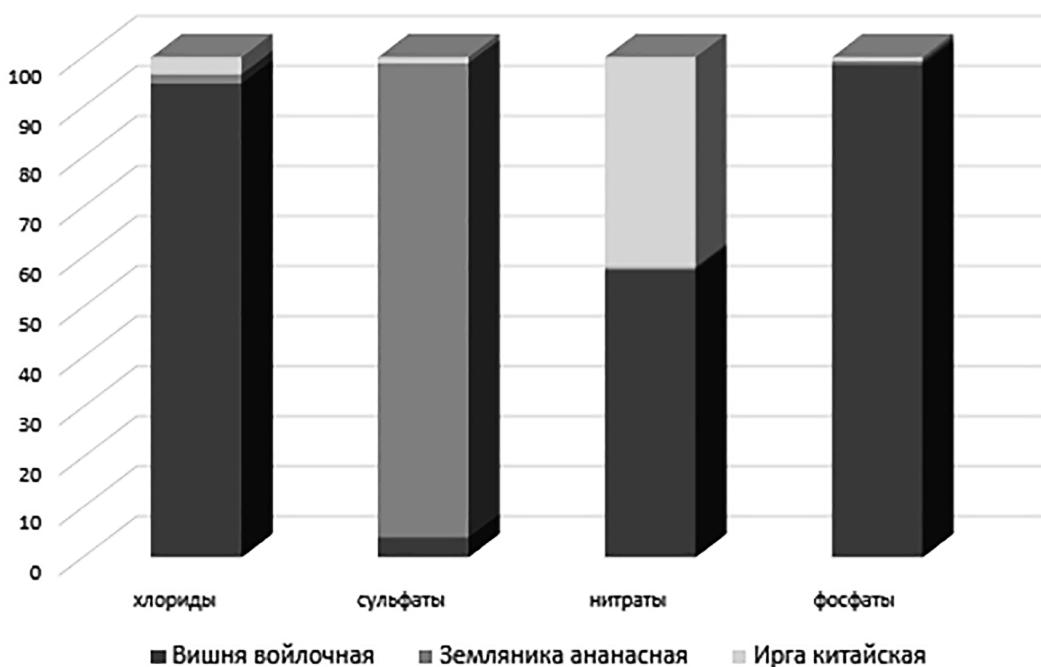


Рисунок 2 – Соотношение анионов в плодах растений семейства Розоцветные
Figure 2 – The ratio of anions in the fruits of the Rosaceae family

плодов вишни войлочной оказалось равным 1 770,00 мг/100 г.

Данные о соотношении анионов в плодах исследованных растений приведено на рисунке 2.

Заключение. Плоды ирги китайской богаты катионами калия и кальция, фосфат-анионами. Ягоды земляники ананасной характеризуются высокой

концентрацией катиона магния и сульфат-аниона, низким содержанием нитратов. Плоды вишни войлочной содержат большое количество катионов натрия, хлорид-анионов.

Для обогащения рациона человека минеральными веществами рекомендуем использовать в пищу плоды исследованных нами растений.

Список источников

- Пастушкова Е. В., Заворохина Н. В., Вяткин А. В. Растительное сырье как источник функционально-пищевых ингредиентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. № 4. С. 105–113. doi: 10.14529/food160412. EDN XCNEOD.
- Фролова Н. А., Резниченко И. Ю. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ // Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 2. С. 83–90. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10021.
- Праскова Ю. А., Фролова Н. А., Шкрабтак Н. В., Пеков Д. Б., Гужель Ю. А. Исследование антиоксидантного потенциала плодово-ягодного сырья Амурской области // АПК России. 2021. Т. 28. № 1. С. 105–109. EDN YPGOON.
- Беркаль И. В. Флористическое районирование голубики обыкновенной, произрастающей в естественных условиях Амурской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. № 4. С. 93–99. doi: 10.36718/1819-4036-2023-4-93-99.

5. Димиденок Ж. А., Смирнова С. А. Количественная оценка содержания тяжелых металлов в ягодных культурах Амурской области // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 17–20. doi: 10.24412/1728-323X-2020-5-17-20.
6. Петрова С. Н., Ивкова А. В. Химический состав и антиоксидантные свойства видов рода *Rosa* L. // Химия растительного сырья. 2014. № 2. С. 13–19. doi: 10.14258/jcprm.1402013. EDN STGQHD.
7. Елисеева Т., Мироненко А. Калий (K, potassium) – описание, влияние на организм, лучшие источники // Журнал здорового питания и диетологии. 2020. № 13. С. 59–70. doi: 10.59316/.vi13.84.
8. Ткачева Н., Елисеева Т. Натрий (Na) – значение для организма и здоровья + 30 лучших источников // Журнал здорового питания и диетологии. 2022. № 19. С. 43–52. doi: 10.59316/.vi19.158.
9. Елисеева Т., Мироненко А. Магний (Mg, magnesium) – описание, влияние на организм, лучшие источники // Журнал здорового питания и диетологии. 2020. № 14. С. 60–71. doi: 10.59316/.vi14.91.
10. Даминов Ф. А., Набиева Ф. С., Очилов О. Ш. Биологическая роль кальция в организме человека // ReFocus. 2023. № 7. С. 56–58. doi: 10.5281/zenodo.8156922.
11. Зыкова Е. Л., Довнар А. К., Филиппова В. А., Лысенкова А. В. Санитарно-химическая оценка содержания анионов-токсикантов в природных водах Гомельской области // Проблемы здоровья и экологии. 2014. № 4 (42). С. 125–129. doi: 10.51523/2708-6011.2014-11-4-24. EDN TPWVTH.

References

1. Pastushkova E. V., Zavorokhina N. V., Vyatkin A. V. Plant raw materials as a source of functional food ingredients. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii*, 2016;4:105–113. doi: 10.14529/food160412. EDN XCNEOD (in Russ.).
2. Frolova N. A., Reznichenko I. Yu. Investigation of the chemical composition of fruit and berry raw materials in the Far Eastern region as a promising source of food and biologically active substances. *Voprosy pitaniya*, 2019;88;2:83–90. doi: 10.24411/0042- 8833-2019-10021 (in Russ.).
3. Praskova Yu. A., Frolova N. A., Shkrabtak N. V., Pekov D. B., Guzhel Yu. A. Investigation of the antioxidant potential of fruit and berry raw materials of the Amur region. *APK Rossii*, 2021; 28;1:105–109. EDN YPGOON (in Russ.).
4. Berkal I. V. Floristic zoning of common blueberries growing in natural conditions of the Amur region. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023;4:93–99. doi: 10.36718/1819-4036-2023-4-93-99 (in Russ.).
5. Dimidenok Zh. A., Smirnova S. A. Quantitative assessment of heavy metal content in berry crops of the Amur region. *Problemy regional'noi ekologii*, 2020;5:17–20. doi: 10.24412/1728-323X-2020-5-17-20 (in Russ.).
6. Petrova S. N., Ivkova A. V. Chemical composition and antioxidant properties of species of the genus *Rosa* L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014;2:13–19. doi: 10.14258/jcprm.1402013. EDN STGQHD (in Russ.).
7. Eliseeva T., Mironenko A. Potassium (K, potassium) – description, effect on the body, the best sources. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*, 2020;13:59–70. doi: 10.59316/.vi13.84 (in Russ.).
8. Tkacheva N., Eliseeva T. Sodium (Na) – importance for the body and health + 30 best sources. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*, 2022;19:43–52. doi: 10.59316/.vi19.158 (in Russ.).
9. Eliseeva T., Mironenko A. Magnesium (Mg, magnesium) – description, effect on the body, the best sources. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*, 2020;14:60–71. doi: 10.59316/.vi14.91 (in Russ.).

10. Daminov F. A., Nabieva F. S., Ochilov O. Sh. The biological role of calcium in the human body. *ReFocus*, 2023;7:56–58. doi: 10.5281/zenodo.8156922 (in Russ.).

11. Zykova E. L., Dovnar A. K., Filippova V. A., Lysenkova A. V. Sanitary and chemical assessment of the content of toxic anions in natural waters of the Gomel region. *Problemy zdorov'ya i ekologii*, 2014;4(42):125–129. doi: 10.51523/2708-6011.2014-11-4-24. EDN TPWVTX (in Russ.).

© Чагарова О. В., Косицына О. А., Осипов П. Е., 2025

Статья поступила в редакцию 28.08.2025; одобрена после рецензирования 02.10.2025; принята к публикации 02.10.2025.

The article was submitted 28.08.2025; approved after reviewing 02.10.2025; accepted for publication 02.10.2025.

Информация об авторах

Чагарова Ольга Викторовна, кандидат химических наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2253-470X>, Author ID: 705195, olga_chagarova.bgpu@mail.ru;

Косицына Ольга Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9712-3231>, Author ID: 352985, ivanolga2005@mail.ru;

Осипов Петр Евгеньевич, кандидат химических наук, доцент, Благовещенский государственный педагогический университет, prorector.ax@bgpu.ru

Information about the authors

Olga V. Chagarova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2253-470X>, Author ID: 705195, olga_chagarova.bgpu@mail.ru;

Olga A. Kositsyna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9712-3231>, Author ID: 352985, ivanolga2005@mail.ru;

Petr E. Osipov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Blagoveshchensk State Pedagogical University, prorector.ax@bgpu.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.

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 издательств, 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;
- ученую степень (при наличии);
- ученое звание (при наличии);
- для авторов, не имеющих ученой степени и ученого 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