

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СИБИРСКИЙ ВЕСТНИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

УЧРЕДИТЕЛИ: СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ОСНОВАН В 1971 г.

Том 48, № 5 (264)



2018
сентябрь – октябрь

Главный редактор академик РАН А.С. ДОНЧЕНКО
Заместитель главного редактора О.Н. ЖИТЕЛЕВА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В.В. Алът	академик РАН, Новосибирск, Россия
О.С. Афанасенко	академик РАН, Санкт-Петербург, Россия
А.Н. Власенко	академик РАН, Новосибирск, Россия
Н.Г. Власенко	академик РАН, Новосибирск, Россия
Н.П. Гончаров	академик РАН, Новосибирск, Россия
И.М. Горобей	доктор сельскохозяйственных наук, Новосибирск, Россия
М.И. Гулюкин	академик РАН, Москва, Россия
В.Н. Делягин	доктор технических наук, Новосибирск, Россия
И.М. Донник	академик РАН, Москва, Россия
Н.А. Донченко	доктор ветеринарных наук, Новосибирск, Россия
Н.М. Иванов	доктор биологических наук, Новосибирск, Россия
А.Ю. Измайлов	академик РАН, Москва, Россия
В.К. Каличин	доктор сельскохозяйственных наук, Новосибирск, Россия
Н.И. Кашеваров	академик РАН, Новосибирск, Россия
С.Н. Магер	доктор биологических наук, Новосибирск, Россия
В.А. Мороз	академик РАН, Ставрополь, Россия
С.П. Озорнин	доктор технических наук, Чита, Россия
В.Л. Петухов	доктор биологических наук, Новосибирск, Россия
Р.И. Полудина	доктор сельскохозяйственных наук, Новосибирск, Россия
В.А. Солошенко	академик РАН, Новосибирск, Россия
Н.А. Сурин	академик РАН, Красноярск, Россия
И.Ф. Храпцов	академик РАН, Омск, Россия
И.Н. Шарков	доктор биологических наук, Новосибирск, Россия

Иностранные члены редколлегии:

В.В. Азаренко	доктор технических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, академик-секретарь Отделения аграрных наук НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Б. Бямбаа	доктор ветеринарных наук, академик Академии наук Монголии, президент Монгольской академии аграрных наук, Улан-Батор, Монголия
А.М. Наметов	доктор ветеринарных наук, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, ректор Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, Астана, Казахстан
В.С. Николов	доктор ветеринарных наук, председатель Сельскохозяй- ственной академии Республики Болгария, София, Болгария

Научный журнал «Сибир-
ский вестник сельскохозяйст-
венной науки» входит в Russian
Science Citation Index (RSCI)
Web of Science.

Журнал представлен в между-
народной библиографической
базе данных Agris, включен в
международный каталог пери-
одических изданий “Ulrich’s
Periodicals Directory” (издательство
“Bowker”, США).



www.sibvest.elpub.ru



Редакторы *Е.В. Мосунова, Г.Н. Ягунова*
Корректор *В.Е. Селянина*. Оператор электронной верстки *Н.Ю. Бориско*
Переводчик *Е.А. Романова*

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ ФС77-64832 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций 2 февраля 2016 г.

Издатель: Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук
Адрес редакции: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СФНЦА РАН, к. 456, а/я 463.
Тел./факс (383)348-37-62
e-mail: vestnik.nsk@ngs.ru; <http://www.sorashn.ru>

Сдано в набор 12.11.18. Подписано в печать 30.11.18. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,25.
Уч.-изд. л. 13,5. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано в Сибирском федеральном научном центре агробιοтехнологий Российской академии наук
© ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук», 2018
© ФГБУ «Сибирское отделение Российской академии наук», 2018



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ХИМИЗАЦИЯ

AGRICULTURE
AND CHEMICALIZATION

Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Бурлакова С.В., Евсеенко В.И., Душкин А.В.
Эффективность супрамолекулярных комплексов тебуконазола с растительными метаболитами при выращивании яровой пшеницы

5 Vlasenko N.G., Teplyakova O.I., Burlakova S.B., Evseenko V.I., Dushkin A.V.
Efficiency of supramolecular complexes of tebuconazole with plant metabolites at cultivation of spring wheat

Моторин А.С. Эффективность минеральных удобрений на торфяных почвах Северного Зауралья

14 Motorin A.S. Efficiency of mineral fertilizers on peat soils of Northern Trans-ural Region

ЖИВОТНОВОДСТВО
И ВЕТЕРИНАРИЯ

ANIMAL HUSBANDRY
AND VETERINARY SCIENCE

Донченко А.С., Фоменко В.В., Васильев В.Г., Афонюшкин В.Н., Донченко Н.А., Козлова Ю.Н., Коптев В.Ю.
Изучение антагонистической активности бактерий, подавляющей синтез феназинов *Pseudomonas aeruginosa*

23 Donchenko A.S., Fomenko V.V., Vasilev V.G., Afonyushkin V.N., Donchenko N. A., Kozlova Yu.N., Koptev V.Yu.
The study of the antagonistic activity of bacteria suppressing the synthesis of phenazines *Pseudomonas aeruginosa*

Иванов Р.В., Николаева Н.А., Хомподоева У.В., Борисова П.П. Использование криокорма в рационах молочных коров и табунных лошадей Якутии

30 Ivanov R.V., Nikolaeva N.A., Hompodoeva U.V., Borisova P.P. The use of cryo-feed in the ration of dairy cows and herd horses of Yakutia

- Неустроев М.П., Тарабукина Н.П., Решетников А.Д., Кокколова Л.М.** Краевая эпизоотология инфекционных и инвазионных болезней лошадей **38** **Neustroev M.P., Tarabukina N.P., Reshetnikov A.D., Kokolova L.M.** Regional epizootology of infectious and invasive diseases of horses

- Инербаев Б.О., Борисов Н.В.** Качество говядины чистопородного и помесного мясного скота Сибири **45** **Inerbaev B.O., Borisov N.V.** Beef quality of pure-bred and cross-bred beef cattle of Siberia

**МЕХАНИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ
И ИНФОРМАЦИОННОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**MECHANISATION, AUTOMATION
AND DATAWARE**

- Альт В.В., Пестунов И.А., Мельников П.В., Ёлкин О.В.** Автоматизированное обнаружение сорняков и оценка качества всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям **52** **Alt V.V., Pestunov I.A., Melnikov P.V., Elkin O.V.** Automated detection of weeds and evaluation of crop sprouts quality based on RGB-images

- Минеев В.В., Алейников А.Ф., Ёлкин О.В., Морозов В.Б.** Прибор для определения спелости ягод **61** **Mineev V.V., Aleinikov A.F., Elkin O.V., Morozov V.B.** The device for berry ripeness determination

- Николаев С.В., Урбанович Е.А., Шаяпов В.Р., Орлова Е.А., Афонников Д.А.** Метод оценки спектра поглощения листа пшеницы по спектру диффузного отражения **68** **Nikolaev S.V., Urbanovich E.A., Shayapov V. R., Orlova E.A., Afonnikov D.A.** A method of evaluating the absorption spectrum of wheat leaf by the spectrum of diffuse reflection

- Усольцев С.Ф., Нестяк В.С.** Применение фитомониторинга для оценки индекса водного стресса **77** **Usoltsev S.F., Nestyak V.S.** Application of phytomonitoring for estimating the water stress index

**ИЗ ИСТОРИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙ-
СТВЕННОЙ НАУКИ**

**FROM THE HISTORY
OF AGRICULTURAL SCIENCE**

**Иванов Р.В., Романова В.В., Федо-
ров В. И., Хомподоева У.В.** Генофонд
аборигенных пород животных Респу-
блики Саха (Якутия)

**86 Ivanov R.V., Romanova V.V., Fedo-
rov V. I., Hompodoeva U.V.** Gene pool
of native breeds of livestock in the re-
public of Sakha (Yakutia)

НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

SCIENTIFIC RELATIONS

**Ульзии-Орших Дордж, Уранбайгаль Деи-
джибал, Хунсеок Чае, Лхагвадордж
Бацамбуу, Алтанхимег Бадарч, Ши-
небайар Далхаа.** Классификация ка-
чества цитрусовых на основе размера
с использованием обработки цифровых
изображений

**95 Ulzii-Orshikh Dorj, Uranbaigal Dejid-
bal, Hongseok Chae, Lkhagvadorj
Batsambuu, Altanchimeg Badarch,
Shinebayar Dalkhaa** Citrus fruit quality
classification based on size using digital
image processing

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

OUR JUBILJARS

Александр Гаврилович Глотов

102 Alexander Gavrilovich Glotov



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-1

УДК 632.952.:621.926.47

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕБУКОНАЗОЛА С РАСТИТЕЛЬНЫМИ МЕТАБОЛИТАМИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

¹Власенко Н.Г., ¹Теплякова О.И., ¹Бурлакова С.В., ²Евсеев В.И., ²Душкин А.В.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии СО Российской академии наук
Новосибирск, Россия

Для цитирования: Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Бурлакова С.В., Евсеев В.И., Душкин А.В. Эффективность супрамолекулярных комплексов тебуконазола с растительными метаболитами при выращивании яровой пшеницы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 5–13. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-1

For citation: Vlasenko N.G., Teplyakova O.I., Burlakova S.V., Evseenko V.I., Dushkin A.V. Effectivnost' supramolekulyarnykh kompleksov tebukanozola s rastitel'nymi metabolitami pri vyrashivani yarovoi pshenitsi [Efficiency of supramolecular complexes of tebuconazole with plant metabolites at cultivation of spring wheat] *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoy nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 5–13. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-1

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты исследований эффективности применения новых фунгицидных композиций при выращивании яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Посевы яровой пшеницы Новосибирская 31 и Обская 2 в фазе начала колошения обрабатывали фунгицидами на основе тебуконазола в виде его супрамолекулярных комплексов с растительными метаболитами – экстрактом корней солодки (*Glycyrrhiza uralensis*) и полисахаридом арабиногалактаном из *Larix sibirica* и *Larix gmelinii*. Применение комплексов тебуконазола с экстрактом солодки и арабиногалактаном подавляло развитие основных болезней листьев – септориоза, бурой ржавчины и мучнистой росы. В посевах пшеницы Новосибирская 31 развитие болезней снизилось на 95,4–100%, что сопоставимо с биологической эффективностью коммерческого фунгицида Фоликур, КЭ (97,1–98,1%). Опрыскивание посевов пше-

EFFICIENCY OF SUPRAMOLECULAR COMPLEXES OF TEBUCONAZOLE WITH PLANT METABOLITES AT CULTIVATION OF SPRING WHEAT

¹Vlasenko N.G., ¹Teplyakova O.I.,
¹Burlakova S.V., ²Evseenko V.I., ²Dushkin A.V.

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia;

²Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

The work presents the results of the research into field efficiency of application of new fungicides when growing spring common wheat in the forest-steppe zone of Western Siberia. At the beginning of the earing phase, crops of spring common wheat Novosibirskaya 31 and Obskaya 2 were treated with fungicides on the basis of tebuconazole in the form of its supramolecular complexes with vegetable metabolites – licorice root extract (*Glycyrrhiza uralensis*) and polysaccharide arabinogalactan from *Larix sibirica* and *Larix gmelinii*. The use of tebuconazole complexes with licorice extract and arabinogalactan suppressed the development of major leaf diseases – Septoria, brown rust and powdery mildew. In spring wheat crops of Novosibirskaya 31, the development of diseases decreased by 95.4–100%, which is comparable with the biological efficiency of commercial fungicide Folicur, CE - 97.1–98.1%. Spraying of Obskaya 2 crops with the

ницы Обская 2 изучаемыми препаратами обеспечило снижение пораженности септориозом на 92,1–97,0%, Фоликуром – на 97,1%. Обработка фунгицидными комплексами увеличивала ассимиляционную поверхность флаг-листа у обоих сортов пшеницы. В большей степени эффективность проявил комплекс тебуконазола с экстрактом солодки: у сорта Новосибирская 31 площадь флаг-листа увеличилась на 27%, у сорта Обская 2 – на 29,8%. При применении тебуконазола с арабиногалактаном площадь флаг-листа увеличилась на 24 и 22% соответственно. Опрыскивание посевов Фоликуром повысило показатель у сорта Новосибирская 31 на 25,6%, Обская 2 на 24,5%. Масса зерна главного колоса в вариантах с обработкой пшеницы сорта Новосибирская 31 комплексом тебуконазола с экстрактом солодки увеличилась на 36,1%, с арабиногалактаном – на 34,4%, что было больше, чем при обработке посевов Фоликуром (33,7%). Рост массы зерна главного колоса пшеницы Обская 2 повысился соответственно изучаемым препаратам на 18,4 и 13,8%, при использовании Фоликура на 11,6%. Опрыскивание посевов изучаемыми препаратами обеспечило рост урожайности зерна яровой пшеницы сорта Новосибирская 31 на 12,1–12,3%, что сопоставимо с результатами применения Фоликура (11,9%). Отзывчивость сорта Обская 2 на применение комплекса тебуконазола с экстрактом солодки была выше – 20,1%, при опрыскивании посевов тебуконазолом с арабиногалактаном урожайность повысилась на 11,2%, Фоликуром – на 6,6%. В условиях лесостепи Западной Сибири более эффективно обрабатывать посевы яровой пшеницы в начале колошения композицией тебуконазола с экстрактом солодки с нормой расхода препарата 0,5 кг/га.

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница, супрамолекулярный комплекс, тебуконазол, экстракт солодки, арабиногалактан

ВВЕДЕНИЕ

При сложившемся уровне культуры земледелия и фитосанитарного состояния агроэкосистем сохранились высокие риски потерь урожая зерна, оцениваемые в среднем ежегодно за 2011–2015 гг. на уровне 34,32 млн т. Часть потерь урожая предотвращает использование системы интегрированной защиты растений, включающей методы и средства химического и нехимического подавления вредных организмов.

studied preparation led to the decrease in the prevalence of Septoria disease by 92.1–97.0%, and the use of Folikur – by 97.1%. The treatment with fungicidal complexes increased the assimilation surface of the flag leaf in both spring wheat varieties. The complex of tebuconazole with licorice extract proved to be the most efficient: in Novosibirskaya 31 the area of the flag leaf increased by 27%, in Ob-skaya 2 - by 29.8%. When using tebuconazole with arabinogalactan, the flag-leaf area increased by 24 and 22%, respectively. Spraying crops with Folikur increased the performance of the varieties Novosibirskaya 31 by 25.6%, Ob-skaya 2 – by 24.5%. The weight of grains of the main spike also increased in the variants of treatment of Novosibirskaya 31 with tebuconazole complex with licorice extract by 36.1%, and with arabinogalactan – by 34.4%, which was higher than during crop treatment with Folikur (33.7%). The increase in the grain weight of the main spike of Ob-skaya 2 wheat variety was 18.4% and 13.8%, respectively, depending on the preparation, while Folikur's application provided the increase by 11.6%. Spraying crops with the studied preparations ensured the increase in the yield of spring wheat grain of the variety Novosibirskaya 31 by 12.1–12.3%, which is comparable with the results of using Folikur – 11.9%. The responsiveness of the variety Ob-skaya 2 on the application of the complex of tebuconazole with licorice extract was higher and accounted for 20.1%, when spraying tebuconazole with arabinogalactan, its yield increased by 11.2%, and the use of Folikurum led to the increase by 6.6%. Thus, in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia, it is more efficient to treat spring common wheat crops at the beginning of the wheat earing phase with the composition of tebuconazole with licorice extract in the consumption rate of the preparation 0.5 kg/ha.

Keywords: spring common wheat, supramolecular complex, tebuconazole, licorice extract, arabinogalactan

Эффективность химической защиты растений (на основе использования пестицидов) по показателю сохраненного урожая от вредителей, болезней и сорняков составляет 11 млн т (32,07% от потенциально возможного уровня предотвращения потерь урожая) [1]. Применение фунгицидов против листовых болезней сохраняет 19–26% урожая яровой пшеницы, на 3–6% повышает озерненность колосьев и полновесность зерновок [2]. Смеси фунгицидов с регуля-

торами роста и микроудобрениями увеличивают сбор зерна более чем на 0,70 т/га [3]. Эффективность фунгицидов обуславливается уровнем поражения сортов пшеницы болезнями, поэтому величина сохраненного урожая, полученного в одних и тех же условиях, может варьировать от 0,18 до 0,33 т/га [4]. Основной постулат защиты растений в мировом земледелии заключается в том, что она не должна выходить за рамки допустимых ограничительных экологических критериев [1, 5]. Эту ориентированность за счет разработки и создания пестицидов нового поколения с меньшими нормами расхода и более эффективной биодоступностью реализуют новые направления развития химии пестицидов [6, 7], усовершенствованные технологии их применения в конкретном агроценозе [8]. Предпочтение отдается малоопасным фунгицидным соединениям [9].

Для более объективной оценки эффективности применяемых фунгицидов используются новые подходы, включающие изучение активности фотосинтетических и ферментативных процессов, содержание микроэлементов в тканях обработанных растений, количество сухого вещества, интенсивность ростовых процессов [10, 11]. Известно, что продуктивность посевов пшеницы зависит от длительности активного функционирования листового аппарата [12]. Установлена положительная сопряженность длины флагового листа с длиной и массой колоса, ширины листа с общим числом колосков, числом продуктивных колосков и продуктивностью колоса. Увеличение размера флагового листа ведет к росту продуктивности за счет повышения озерненности колоса, что может влиять на крупность зерна [13]. Фунгициды, сохраняя ассимиляционную поверхность защищенных листьев зерновых культур (пшеницы, ячменя, овса), влияют на формирование листового аппарата, который в зависимости от примененного препарата может или увеличиваться, или уменьшаться [14], что в результате определяет зерновую продуктивность выращиваемой культуры.

Цель исследования – оценить эффективность фунгицидных супрамолекулярных

комплексов тебуконазола с экстрактом солодки и полисахаридом арабиногалактаном против болезней листьев яровой мягкой пшеницы, выявить наличие росторегулирующих свойств препаратов, их влияние на продукционный процесс и сохранность урожая зерна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для реализации поставленной цели в 2018 г. на опытном поле, расположенном в центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Новосибирской области заложены два полевых эксперимента. В опытах использовали два сорта яровой мягкой пшеницы – Обская 2 и Новосибирская 31, которые размещали по паровому предшественнику. Посев осуществляли 21 и 22 мая с нормой высева 6 млн всхожих зерен /га. Оба опыта включали 4 варианта:

- 1) контроль без обработки фунгицидами;
- 2) Фоликур, КЭ (д.в. тебуконазол, 250 г/л) – эталон с нормой расхода 1 л/га;
- 3) супрамолекулярный комплекс тебуконазола с растительными метаболитами – экстрактом корней солодки *Glycyrrhiza uralensis* (1 : 5; ВМ 24 ч; норма расхода препарата 0,5 кг/га);
- 4) супрамолекулярный комплекс тебуконазола с полисахаридом арабиногалактаном, выделяемым из древесины лиственниц *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* (1 : 10; ВМ 6 ч; 0,5 кг/га).

Приготовление сухих композиций – комплексов тебуконазола с экстрактом солодки и тебуконазола с арабиногалактаном – осуществляли по оригинальной механохимической технологии, описанной ранее [15]. Обработку посевов фунгицидами против комплекса болезней листьев проводили в начале колошения ручным опрыскивателем с нормой расхода рабочей жидкости 300 л/га. Семена перед посевом обрабатывали системным фунгицидом. Посевы в фазе кущения опрыскивали баковой смесью дикотицида и граминицида против комплекса сорняков. Оценку фитосанитарного состояния посевов (септориоз – *Septoria nodorum*

Berk., *Septoria tritici* Rob. et Desm. [16], бурая листовая ржавчина – *Puccinia recondita* Rob. et Desm. (шкала Петерсона); мучнистая роса – возбудитель *Blumeria graminis* (DC) Speer. (синоним *Erysiphe graminis* DC) f. *tritici* Em. Marchal порядка *Erysiphales* [17] проводили в фазе молочной спелости культуры. Площадь флагового листа главного побега ($n = 100$) определяли методом промеров [18] с поправочным коэффициентом 0,67 в фазе молочной спелости; показатели структуры колоса ($n = 100$) – перед уборкой [19]. Уборку урожая осуществляли прямым комбайнированием (Сампо-500) 5 сентября. Урожайность приводили к стандартной влажности и чистоте. Математическую обработку данных осуществляли с помощью пакета прикладных программ Snedecor [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования проводили в условиях увлажненного вегетационного периода, что способствовало развитию основных болезней листьев яровой пшеницы, характерных для лесостепной зоны Западной Сибири – септориоза, бурой листовой ржавчины и мучнистой росы. До фазы колошения в нижнем ярусе посевов Новосибирской 31 регистрировали с низкими индексами развития (2,2 и 3,2%) только септориоз и мучнистую росу. На листьях верхнего яруса симптомы этих болезней встречались единично. К фазе молочной спелости зерна в верхнем ярусе растений инфекционный фон увеличился: у 32% растений развитие мучнистой росы достигало 10,7%, у 100% растений интенсивность поражения септориозом составила 21,6%. Развитие этих заболеваний сдерживала бурая листовая ржавчина, интенсивно распространившаяся в незащищенных посевах (средняя степень поражения растений 62,9%).

Оба исследуемых препарата подавляли развитие всех выявленных болезней в посевах Новосибирской 31. Против доминирующей в патогенном комплексе бурой листовой ржавчины эффективнее действо-

вал фунгицидный комплекс тебуконазола с экстрактом солодки (биологическая эффективность 100%). Эффект применения комплекса тебуконазола с арабиногалактаном (биологическая эффективность 98,3%) соответствовал результату, полученному при обработке посевов химическим эталоном (биологическая эффективность 98,1%). Тебуконазол в комплексе с солодкой надежнее защищал растения от поражения септориозом (биологическая эффективность 95,4%) в сравнении с комплексом с арабиногалактаном (85,6%) и лишь немного уступал Фоликуру (97,1%). Этот комплекс эффективнее сдерживал развитие и распространение мучнистой росы в верхнем ярусе защищенных растений.

Яровая пшеница Обская 2 поражалась только септориозом, развитие которого в фазе начала молочной спелости зерна на подфлаговом листе достигло 21,6% при 100%-й распространенности. Его распространенность эффективнее подавлял Фоликур (в 2,2 раза). Комплексы тебуконазола с экстрактом солодки и арабиногалактаном ограничивали распространенность болезни в 1,4 и 1,3 раза. Однако пораженность листьев септориозом изучаемыми комплексами сдерживалась на высоком уровне: биологическая эффективность тебуконазола с экстрактом солодки составила 91,3%, с арабиногалактаном – 83,1%. Фоликур подавил развитие болезни на 92,8%. К концу фазы молочной спелости зерна частота встречаемости здоровых растений в опытных вариантах превышала контроль в 5,7 (тебуконазол с экстрактом солодки) и 4,7 раза (тебуконазол с арабиногалактаном), интенсивность поражения флаг-листа не превышала 1%. При этом биологическая эффективность комплекса тебуконазола с солодкой была сопоставима с эталоном (97 и 97,1% соответственно), с арабиногалактаном она составила 92,1%.

У защищенной новыми фунгицидными комплексами пшеницы достоверно увеличивалась (степень влияния по Снедекору 99,7 и 99,5%) площадь флагового листа и задерживалось старение листьев (см. табл. 1).

Табл. 1. Площадь флаг-листа главного побега яровой пшеницы, защищенной композициями тебуконазола с экстрактом солодки и арабиногалактаном, см²

Table 1. The area of the flag leaf of the main shoot of spring wheat protected by tebuconazole compositions with licorice extract and arabinogalactan, cm²

Вариант опыта	Новосибирская 31		Обская 2	
	см ²	+ к контролю, %	см ²	+ к контролю, %
Контроль (без обработки фунгицидами)	18,4	–	18,1	
Фоликур, КЭ, 1 л/га	24,7	25,6	24,0	24,5
Композиция тебуконазол : солодка (1 : 5; 0,5 кг/га)	25,2	27,0	25,8	29,8
Композиция тебуконазол : арабиногалактан (1 : 10; 0,5 кг/га)	24,2	24,0	23,2	22,0
НСР ₀₅	0,19		0,27	

Ростостимулирующий эффект обработки растений фунгицидными препаратами проявлялся у обоих сортов пшеницы. В большей степени он был выражен, если флаг-лист защищали комплексом тебуконазола с экстрактом солодки: у сорта Новосибирская 31 его площадь увеличилась на 27%, у сорта Обская 2 – на 29,8%. При применении тебуконазола с арабиногалактаном площадь флаг-листа увеличилась на 24 и 22% соответственно. Разница в этом показателе (1,35 раза) между опытными вариантами сильнее проявилась на сорте Обская 2. Опрыскивание посевов Фоликуром также увеличивало площадь флаг-листа: у сорта Новосибирская 31 на 25,6%, Обская 2 на 24,5%. Обработка растений тебуконазолом с экстрактом солодки вызывала увеличение ширины флаг-листьев главного стебля. Для пшеницы Новосибирская 31 средний пока-

затель составил 1,62 см (контроль – 1,13 см, Фоликур – 1,60, тебуконазол с арабиногалактаном – 1,54 см; НСР₀₅ = 0,01); Обская 2 – 1,45 см (контроль – 1,25 см, Фоликур – 1,42, тебуконазол с арабиногалактаном – 1,38 см; НСР₀₅ = 0,02). У растений с увеличенной площадью флаг-листа главного стебля повышалась крупность зерна главного колоса (коэффициенты корреляции и детерминации для сорта Новосибирская 31 составили 0,94 и 88,4%, Обская 2 – 0,97 и 94,1%). Масса зерна главного колоса в вариантах с обработкой изучаемыми препаратами пшеницы сорта Новосибирская 31, которая поражалась всем комплексом болезней листьев, увеличилась на 36,1 (тебуконазол с солодкой) и 34,4% (тебуконазол с арабиногалактаном) и превышала результат, полученный от обработки Фоликуром (33,7%) (см. табл. 2). Рост массы зерна главного

Табл. 2. Показатели продуктивности главного колоса яровой пшеницы, защищенной комплексами тебуконазола с экстрактом солодки и арабиногалактаном

Table 2. Productivity indicators of the main spike of spring wheat protected by tebuconazole compositions with licorice extract and arabinogalactan

Вариант опыта	Новосибирская 31			Обская 2		
	число зерен в главном колосе	масса 1000 зерен главного колоса, г	масса зерна главного колоса, г	число зерен в главном колосе	масса 1000 зерен главного колоса, г	масса зерна главного колоса, г
Контроль (без обработки фунгицидами)	31,67	38,49	1,22	33,62	49,95	1,68
Фоликур, КЭ, 1 л/га	42,96	42,75	1,84	34,30	55,49	1,90
Композиция тебуконазол : солодка (1 : 5; 0,5 кг/га)	42,56	44,94	1,91	36,42	56,70	2,06
Композиция тебуконазол : арабиногалактан (1 : 10; 0,5 кг/га)	41,71	44,58	1,86	34,79	56,08	1,95
НСР ₀₅	0,46	0,29	0,02	0,17	0,79	0,03
Степень влияния по Снедекору, %	99,71	99,60	99,70	99,1	97,50	98,20

колоса у пшеницы Обская 2, пораженной только септориозом, составил соответственно изучаемым препаратам 18,4 и 13,8%, в то время как применение Фоликура обеспечило рост показателя на 11,6%. Следует отметить, что при применении фунгицидов существенно увеличивалась озерненность колоса. У пшеницы Новосибирская 31 композиция тебуконазола с экстрактом солодки повысила показатель на 34,4%, с арабиногалактаном – на 31,4%, у сорта Обская 2 – на 8,4 и 3,5%. Опрыскивание посевов Фоликуром повысило показатель на 35,6 и 2,0%. Существенно возросла масса 1000 зерен главного колоса: при применении тебуконазола с солодкой у сорта Новосибирская 31 на 6,45 г, Обская 2 на 6,75 г, тебуконазола с арабиногалактаном на 6,09 и 6,13 г соответственно. Применение Фоликура увеличило показатель у сорта Новосибирская 31 на 4,26 г, Обская 2 на 5,54 г, что было существенно меньше, чем при опрыскивании посевов изучаемыми препаратами.

Таким образом, использование композиций тебуконазола с экстрактом солодки и арабиногалактаном при выращивании яровой пшеницы приводило не только к подавлению развития основных листовых инфекций на растениях, но и оказывало положительное влияние на основные показатели структуры продуктивности растений, сопоставимое с использованием коммерческого фунгицида, или превышающее его действие на культуру.

Применение комплексов тебуконазола с солодкой и арабиногалактаном приводило к существенному росту урожайности зерна пшеницы: у пшеницы Новосибирская 31 на 12,1–12,3%, что сопоставимо с результатами применения Фоликура – 11,9% (см. табл. 3). Отзывчивость сорта Обская 2 на применение тебуконазола с экстрактом солодки была выше – 20,1%, при опрыскивании посевов тебуконазолом с арабиногалактаном рост урожайности зерна составил 11,2%, Фоликуром – 6,6%.

Табл. 3. Влияние обработки посевов композициями тебуконазола с экстрактом солодки и арабиногалактаном на урожайность зерна, т/га

Table 3. The effect of treating crops with tebuconazole compositions with licorice extract and arabinogalactan on grain yield, t/ha

Вариант опыта	Новосибирская 31	Обская 2
Контроль (без обработки фунгицидами)	5,36	4,72
Фоликур, КЭ, 1 л/га	6,00	5,03
Композиция тебуконазол : экстракт солодки (1 : 5; 0,5 кг/га)	6,02	5,67
Композиция тебуконазол : арабиногалактан (1 : 10, 0,5 кг/га)	6,01	5,25
НСР ₀₅	0,06	0,22
Степень влияния по Снедекору, %	98,0	90,1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях лесостепной зоны Западной Сибири в полевом опыте применены новые фунгицидные композиции – механохимически полученные супрамолекулярные комплексы тебуконазола с экстрактом солодки в массовом соотношении 1 : 5 (время механохимической обработки в мельнице ВМ 24 ч), а также тебуконазола с арабиногалактаном массовом соотношении 1 : 10 (время механохимической обработки 6 ч) с нормой расхода препарата 0,5 кг/га.

Однократная обработка, проведенная в начале колошения пшеницы, эффективно сдерживала развитие на растениях фитопатогенов *Puccinia recondita*, *Septoria nodorum*, *Blumeria graminis*, стимулировала рост флагового листа, повышала зерновую продуктивность яровой мягкой пшеницы на уровне или выше коммерческого химического фунгицида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Захаренко В.А. Экономическая целесообразность системы защиты зерновых культур в России // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 5–8. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10701

2. Немченко В.В., Кекало А.Ю., Заргарян Н.Ю. Фунгициды на яровой пшенице в условиях Зауралья // Вестник Уральской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. Т. 31. № 3. С. 33–35. DOI 10.18286/1816-4501-2015-3-33-37
3. Шоба В.Н., Каличкин В.К., Ким С.А., Каличкин А.В. Резервы повышения урожайности яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 31–33.
4. Поляков М.В., Губанова В.М. Листостеблевые болезни сортов яровой пшеницы в условиях северной лесостепи Тюменской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 4. С. 146–148.
5. Захаренко В.А. Проблема резистентности вредных организмов к пестицидам – мировая проблема // Вестник защиты растений. 2001. № 1. С. 3–17.
6. Халиков С.С., Душкин А.В., Давлетов Р.Д., Евсеев В.И. Создание инновационных фунгицидных средств на основе тебуконазола с привлечением механохимических процессов // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–12. С. 2695–2700.
7. Чижишева Г.Е., Давлетов Р.Д., Земченкова Г.К. Сравнительная оценка фунгицидной активности арабиногалактана по отношению к карбендазиму // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. № 2. С. 118–120.
8. Лысов А.К. Методологические подходы для решения задач по дискретному внесению пестицидов // Вестник защиты растений. 2018. Т. 97. № 3. С. 5–9.
9. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И. Современные фунгициды для интегрированных систем защиты зерновых культур от комплекса фитопатогенов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. Т. 39. № 6. С. 7–10.
10. Парахин Н.В., Лысенко Н.Н. Защита растений в повышении урожайности и качества зерна // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. Т. 39. № 6. С. 2–7.
11. Массалимов И.А., Давлетшин Р.Д., Гайфуллин Р.Р., Зайнутдинова Р.М., Мусавирова Л.Р. Сравнение биологических свойств наночастиц серы и известных пестицидов // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 3. С. 142–144.
12. Ашаева О.В., Шахалов В.Н. Фотосинтетическая деятельность посевов яровой твердой пшеницы в условиях Нижегородской области // Вестник АПК Верхневолжья. 2014. Т. 27. № 3. С. 28–30.
13. Голева Г.Г., Ващенко Т.Г., Крюкова Т.И., Голев А.Д. Роль флаговых листьев в формировании продуктивности растений озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. Т. 49. № 2. С. 31–42. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.31
14. Баталова Г.А., Ведерников Ю.Е., Лисицын Е.М., Снигирева О.М., Мартыанова А.Н. Влияние агропестицидов на ассимиляционную поверхность растений яровых зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 39–42.
15. Метелева Е.С., Евсеев В.И., Теплякова О.И., Халиков С.С., Поляков Н.Э., Апанасенко И.Е., Душкин А.В., Власенко Н.Г. Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян злаковых культур // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26. № 3. С. 279–294. DOI: 10.15372/KhUR20180304
16. Санин С.С., Санина А.А., Мотовилин А.А., Пахолкова Е.В., Корнева Л.Г., Жохова Т.П., Полякова Т.М. Защита пшеницы от септориоза // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2012. № 4. С. 73.
17. Санин С.С., Неклеса Н.П., Стрижекозин Ю.А. Защита пшеницы от мучнистой росы // Защита и карантин растений. 2008. № 1. С. 62–70.
18. Дмитриев Н.Н., Хуснидинов Ш.К. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии // Вестник Красноярского аграрного университета. 2016. № 7. С. 88–93.
19. Ещенко В.Е., Трифонова М.Ф., Копытко П.Г., Соловьев А.М., Фирсов И.П., Шевченко В.А. Основы опытного дела в растениеводстве: монография. М.: Колос. 2009. 268 с.
20. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере: монография. Новосибирск, 2012. 282 с.

REFERENCES

1. Zakharenko V.A. Ekonomicheskaya tselesoobraznost' sistemy zashchity zernovykh kul'tur

- v Rossii [Economic expediency of protection system of grain crops in Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of AIC]*, 2018, vol. 32, no. 7, pp. 5–8. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10701
2. Nemchenko V.V., Kekalo A.Yu., Zargaryan N.Yu. Fungitsidy na yarovoi pshenitse v usloviyakh Zaural'ya [Fungicides on spring wheat in the conditions of Trans Urals]. *Vestnik Ural'skoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Ural State Agricultural Academy], 2015, vol. 31, no. 3, pp. 33–35. DOI 10.18286/1816-4501-2015-3-33-37
3. Shoba V.N., Kalichkin V.K., Kim S.A., Kalichkin A.V. Rezervy povysheniya urozhainosti yarovoi pshenitsy v lesostepi Zapadnoi Sibiri [Potential for yield increase of spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of AIC]*, 2017, vol. 31, no. 6, pp. 31–33.
4. Polyakov M.V., Gubanova V.M. Listosteblevye bolezni sortov yarovoi pshenitsy v usloviyakh severnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti [Leaf and stem diseases of spring wheat varieties in the conditions of forest-steppe of Tyumen region]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 2014, no. 4, pp. 146–148.
5. Zakharenko V.A. Problema rezistentnosti vrednykh organizmov k pestitsidam – mirovaya problema [The problem of pests' resistance to pesticides is a global problem]. *Vestnik zashchity rastenii* [Journal Plant Protection News], 2001, no. 1, pp. 3–17.
6. Khalikov S.S., Dushkin A.V., Davletov R.D., Evseenko V.I. Sozdanie innovatsionnykh fungitsidnykh sredstv na osnove tebukonazola s privlecheniem mekhanokhimicheskikh protsessov [Creation of innovative fungicidal means on the basis of tebuconazole with the use of mechanochemical processes]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 10–12, pp. 2695–2700.
7. Chikisheva G.E., Davletov R.D. Zemchenkova G.K. Sravnitel'naya otsenka fungitsidnoi aktivnosti arabinogalaktana po otnosheniyu k karbendazimu [Comparative assessment of fungicidal activity of arabinogalactan with regard to karbendazim]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2012, vol. 19, no. 2, pp. 118–120.
8. Lysov A.K. Metodologicheskie podkhody dlya resheniya zadach po diskretnomu vneseniyu pestitsidov [Methodological approaches to solving the task on discreet application of pesticides]. *Vestnik zashchity rastenii* [Journal Plant Protection News], 2018, vol. 97, no. 3, pp. 5–9.
9. Grischechkina L.D., Dolzhenko V.I. Sovremennye fungitsidy dlya integrirovannykh sistem zashchity zernovykh kul'tur ot kompleksa fitopatogenov [Modern fungicides for integrated systems of grain crop protection from a number of phytopathogens]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Orel State Agrarian University], 2012, vol. 39, no. 6, pp. 7–10.
10. Parakhin N.V., Lysenko N.N. Zashchita rastenii v povyshenii urozhainosti i kachestva zerna [Plant protection in improvement of grain yield and quality]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Orel State Agrarian University], 2012, vol. 39, no. 6, pp. 2–7.
11. Massalimov I.A., Davletshin R.D., Gaifulin R.R., Zainitdinova R.M., Musavirova L.R. Sravnenie biologicheskikh svoystv nanochastits sery i izvestnykh pestitsidov [Comparison of biological properties of Sulphur nanoparticles and known pesticides]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2013, vol. 20, no. 3, pp. 142–144.
12. Ashaeva O.V., Shakhlov V.N. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' posevov yarovoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti [Photosynthetic activity of spring durum wheat crops in the conditions of Nizhegorodskaya region]. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* [Bulletin of AIC of Verkhnevolzhya], 2014, vol. 27, no. 3, pp. 28–30.
13. Goleva G.G., Vashchenko T.G., Kryukova T.I., Golev A.D. Rol' flagovykh list'ev v formirovanii produktivnosti rastenii ozimoi myagkoi pshenitsy (Triticum aestivum L.) [The role of flag leaves in formation of productivity of winter common wheat (Triticum aestivum L.)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Voronezh State Agrarian University], 2016, vol. 49, no. 2, pp. 31–42. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.31
14. Batalova G.A., Vedernikov Yu.E., Lisitsyn E.M., Snigireva O.M., Mart'yanova A.N. Vliyanie agropestitsidov na assimilyatsionnyu poverkhnost' rastenii yarovykh zern

- novykh kul'tur [Influence of agro-pesticides on assimilation plant surface of spring grain crops]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2017, vol. 31, no. 6, pp. 39–42.
15. Meteleva E.S., Evseenko V.I., Teplyakova O.I., Khalikov S.S., Polyakov N.E., Ap-
anasenko I.E., Dushkin A.V., Vlasenko N.G. Nanopestitsidy na osnove supramolekulyarnykh kompleksov tebukonazola dlya obrabotki semyan zlakovykh kul'tur [Nanopesticides on the basis of supramolecular complexes of tebuconazole for grain crop seeds treatment]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry for the purpose of sustainable development], 2018, vol. 26, no. 3, pp. 279–294. DOI: 10.15372/KhUR20180304
16. Sanin S.S., Sanina A.A., Motovilin A.A., Pakholkova E.V., Korneva L.G., Zhokhova T.P., Polyakova T.M. Zashchita pshenitsy ot septorioza [Plant protection from Septoria]. *Prilozhenie k zhurnalu «Zashchita i karantin rastenii»* [Attachment to the Journal “Protection and quarantine of plants”], 2012, no. 4, pp. 73.
17. Sanin S.S. Neklesa N.P. Strizhekozin Yu.A. Zashchita pshenitsy ot muchnistoi rosy [Protection of wheat from mildew]. *Zashchita i karantin rastenii* [Protection and quarantine of plants], 2008, no. 1, pp. 62–70.
18. Dmitriev N.N., Khusnidinov Sh.K. Metodika uskorenno opredeleniya ploshchadi listovoi poverkhnosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur s pomoshch'yu komp'yuternoi tekhnologii [Methods of fast determination of leaf surface area of agricultural crops with the help of computer technologies]. *Vestnik Krasnoyarskogo agrarnogo universiteta universiteta* [The Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 2016, no. 7, pp. 88–93.
19. Eshchenko V.E., Trifonova M.F., Kopytko P.G., Solov'ev A.M., Firsov I.P., Shevchenko V.A. *Osnovy opytnogo dela v rastenievodstve*: [The basis of experimental business in plant breeding]. M.: Kolos [Kolos], 2009. 268 p.
20. Sorokin O.D. *Prikladnaya statistika na komp'yutere*: [Applied statistics on the computer]. Novosibirsk, 2012. 282 p.

Информация об авторах

✉ **Власенко Н.Г.**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией защиты растений; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦА РАН, а/я 463. e-mail: vlas_nata@ngs.ru

Теплякова О.И., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Бурлакова С.В., кандидат сельскохозяйственных наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Душкин А.В., доктор химических наук, главный научный сотрудник; Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Евсеенко В.И., кандидат химических наук, научный сотрудник, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Финансовая поддержка

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (проект 18-416-540007/18).

Author information:

✉ **Vlasenko N.G.**, Doctor of Science in Biology, Head Researcher, Head of the Plant Protection Laboratory of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: vlas_nata@ngs.ru

Teplyakova O.I., Candidate of Science in Biology, Senior Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Burlakova S.V., Candidate of Science in Biology, the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Dushkin A.V., Doctor of Science in Chemistry, Head Researcher of the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Evseenko V.I., Candidate of Science in Chemistry, Researcher of the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Дата поступления статьи 06.09.2018
Received by the editors 06.09.2018

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

^{1,2}Моторин А.С.

¹Государственный аграрный университет Северного Зауралья
Тюменская область, Тюмень, Россия

²Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья –
филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
Тюменская область, пос. Московский, Россия

Для цитирования: Моторин А.С. Эффективность минеральных удобрений на торфяных почвах Северного Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 14–22. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-2

For citation: Motorin A.S. Effektivnost' mineral'nykh udobrenii na torfyanykh pochvakh Severnogo Zaural'ya [Efficiency of mineral fertilizers on peat soils of Northern Trans-Ural Region]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 14–22. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-2

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Изложены результаты многолетних (1982–1995, 2011–2014) исследований по эффективности минеральных (NPK) удобрений на среднесиловых почвах лесостепной зоны Северного Зауралья. Исследования проведены на опытно-мелиоративной системе, расположенной в центральной части Тарманского болотного массива на второй озерно-аллювиальной террасе р. Туры в Тюменской области. Почвы опытного участка имеют слабокислую реакцию среды 5,2–5,9, относительно низкую гидролитическую кислотность 28,1–40,8 мг-экв./100 г почвы, сравнительно низкую степень насыщенности основаниями 61,7–75,5%, высокое содержание валового азота 3,1–3,9, низкое – фосфора 0,09–0,14 и калия 0,02–0,05%. В результате исследований выявлен недостаток питательных веществ в начале вегетации многолетних трав при холодной весне и постоянно во второй половине вегетационного периода. Поэтому без внесения удобрений многолетние травы формируют низкую урожайность сена (1,95 т/га за два укоса в среднем за 14 лет). Отмечено, что за годы исследований урожайность трав без внесения удобрений не имеет тенденции к увеличению. Ее колебания по годам обусловлены главным образом погодными условиями. Систематическое внесение в подкормках полного минерального удобрения увеличивает урожайность сена многолетних трав в 2,6–3,8 раза. Максимальная прибавка сена 32,2 кг в среднем за 14 лет получена при внесении $N_{30}P_{60}K_{60}$. Увеличение нормы удобрений от 150 до 240 кг д. в.

EFFICIENCY OF MINERAL FERTILIZERS ON PEAT SOILS OF NORTHERN TRANS-URAL REGION

^{1,2}Motorin A.S.

¹State Agrarian University of the Northern Trans-Ural Region

Tyumen, Tyumen region, Russia

²The Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Ural Region – Branch of the Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Moskovsky vil., Tyumen region, Russia

The paper presents the results of the long-term studies (1982–1995 and 2011–2014) on the effectiveness of mineral fertilizers (NPK) on medium-textured soils of the forest-steppe zone of the Northern Trans-Urals. The studies were conducted on the experimental land-reclamation system located in the central part of the Tarmansky bog land on the second lacustrine-alluvial terrace of the Tura river. The soils have a weakly acid medium reaction 5.2–5.9, relatively low hydrolytic acidity 28.1–40.8 mg - eq. / 100 g of soil, a relatively low degree of base saturation 61.7–75.5%, high content of total nitrogen 3.1–3.9% and low content of phosphorus 0.09–0.14% and potassium 0.02–0.05%. As a result of the research, it was revealed that there was a lack of nutrients both at the beginning of the growing season of perennial grasses during cold spring and permanently in the second half of the growing season. Therefore, without fertilization, perennial grasses form low hay yields (1.95 t/ha in two-time mowing on average in 14 years). It was noted that over the years, the yield of grass without fertilizers does not tend to increase. Yield fluctuations over the years are mainly due to weather conditions. Systematic application of complete mineral fertilizers in dressings increases the yield of hay of perennial grasses by 2.6–3.8 times. The maximum increase of hay by 32.2 kg on average in 14 years was achieved when applying $N_{30}P_{60}K_{60}$. The increase in the fertilizer rate from 150 to 240 kg

снизило эффективность каждого килограмма действующего вещества на 20%, до 330 кг – на 34%. Потребность трав в азоте удовлетворяется за счет минеральных удобрений менее чем на половину (41,4%). Формирование полноценного второго укоса возможно только при внесении удобрений. Внесение их обеспечивает господствующее положение (87–92%) костреца безостого со второго года пользования трав. Ежегодные подкормки многолетних трав удобрениями позволяют получать высококачественное сено.

Ключевые слова: торфяная почва, минеральные удобрения, многолетние травы, урожайность, питательные вещества

ВВЕДЕНИЕ

Торфяные болота по своему происхождению, своей естественной растительности и по водным условиям представляют «прирожденную» луговую почву [1]. После осушения торфяные почвы наиболее целесообразно отводить под культурные сенокосы и пастбища, продуктивность которых в наименьшей степени лимитируется климатическими факторами [2, 3]. В настоящее время основная часть (59%) торфяных почв используется под сенокосы и пастбища (36%)¹ [4]. Средняя урожайность сена трав на этих почвах составляет 10–15 ц/га, что значительно снижает рентабельность и срок окупаемости затрат на мелиорацию [5–7]. Практика освоения и использования торфяных почв показала, что продуктивность травостоев в решающей степени зависит от агротехники их возделывания, в частности от применения минеральных удобрений [8–10]. Применение удобрений из-за их высокой стоимости резко сократилось, что обуславливает снижение плодородия и ухудшение качества продукции растениеводства [11, 12]. Анализ использования торфяных почв Северного Зауралья показывает, что выращивание сельскохозяйственных культур без внесения удобрений не дает должного эффекта [13, 14]. Влияние мине-

of the primary nutrient reduced the efficiency of each kilogram of the primary nutrient by 20%, whereas the increase up to 330 kg reduced the efficiency by 34%. The need of grasses in nitrogen is satisfied by mineral fertilizers by less than a half (41.4%). Formation of an adequate second mowing is possible only with the application of fertilizers. Fertilization provides a dominant position (87–92%) of the awnless brome from the second year of using grasses. Annual fertilizer dressings applied to perennial grasses allow to obtain high-quality hay.

Keywords: peat soil, mineral fertilizers, perennial grasses, yield, nutrients

ральных удобрений на урожайность многолетних трав на торфяных почвах изучено недостаточно. В связи с этим нами проведены многолетние исследования по данному вопросу.

Цель исследований – установить эффективность минеральных удобрений на торфяных почвах при выращивании многолетних трав.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования по эффективности действия минеральных удобрений на урожайность и качество сена многолетних трав проводили в два этапа: с 1981 по 1995 г. и с 2011 по 2014 г. на опытном дренажном участке Решетниково, осушенном гончарным дренажем с междренним расстоянием 24 м и глубиной заложения 1,5 м. Опытномелиоративная система Решетниково расположена в Тюменском районе Тюменской области в центральной части Тарманского болотного массива, занимающего площадь 125,8 тыс. га на второй озерно-аллювиальной террасе р. Туры.

Перед закладкой полевого опыта были отобраны исходные почвенные образцы, которые характеризуются следующими агрохимическими показателями (см. табл. 1).

¹Лукин С.М. Торфяные почвы и осушенные болота России: экологические функции, использование в сельскохозяйственном производстве и инновационные технологии биоконверсии // Научно-технологическое и инновационное обеспечение сельскохозяйственного производства и модернизации АПК Сибири. Новосибирск: ГНУ СибНСХБ СО РАН, 2012. С. 43–54.

Табл. 1. Агрохимические свойства торфяной почвы**Table 1.** Agrochemical properties of peat soil

Глубина, м	pH _{сол}	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	V, %	N	P	K
		мг-экв./100 г почвы			% абс. сух. вещ-ва		
0–0,2	5,9	28,1	86,7	75,5	3,92	0,12	0,03
0,2–0,4	5,4	29,5	77,2	72,4	3,81	0,14	0,05
0,4–0,6	5,2	36,8	69,4	65,3	3,39	0,14	0,02
0,6–0,8	5,3	40,8	65,8	61,7	3,10	0,11	0,02
0,8–1,0	5,6	33,4	100,7	75,7	3,22	0,09	0,02

Почвы опытного участка представлены низкосолевым (4,7–6,5%) осоково-тростниковым среднетощим торфяником (150 см) со степенью разложения 20–45% и наименьшей влагоемкостью полуметрового слоя 288,5 мм. Реакция среды слабокислая, гидролитическая кислотность относительно небольшая, сравнительно низкая степень насыщенности основаниями. Содержание валовых форм азота высокое, фосфора и калия – низкое.

Первичную обработку торфяника на опытном участке проводили путем фрезерования машинами МТП-42 на глубину 25–27 см. Предпосевная обработка включала вспашку на глубину 20–22 см в сочетании с дискованием и прикатыванием тяжелым болотным катком. Семена травосмеси, состоящей из клевера красного – 12 кг, костреца безостого – 6 кг, овсяницы луговой – 4 кг и тимофеевки луговой – 3 кг/га, высевали беспокровно в оптимальные сроки. Удобрения вносили в дозах, обусловленных схемой опыта, которая приведена при описании ре-

зультатов исследований. Подкормку трав с 1981 по 1995 г. проводили ежегодно в два приема: первую весной в начале отрастания трав, вторую – после первого укоса. В период с 1996 по 2010 г. многолетние травы на опытных делянках не удобряли. В 2011 г. на варианте N₆₀P₉₀K₉₀ возобновили внесение удобрений. Уборку травостоя на сено осуществляли в начале цветения, отавы – в конце августа – начале сентября. Размер учетной делянки 40 м², повторность четырехкратная. Грунтовые воды на опытном участке в годы исследований находились на глубине 117–154 см, влажность полуметрового слоя изменялась от 40,6 до 85% наименьшей влагоемкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате многолетних исследований установлено, что недостаток в почве питательных веществ на контрольных делянках обеспечивает формирование низкой урожайности сена многолетних трав (см. табл. 2). В среднем за 14 лет пользова-

Табл. 2. Урожайность сена многолетних трав на среднетощей торфяной почве при длительном применении минеральных удобрений (среднее за 1982–1995 гг.), т/га**Table 2.** Hay yield of perennial grasses on medium-textured peat soil with the long-term application of mineral fertilizers (average for 1982–1995), t/ha

Вариант	Первый укос		Второй укос	
	урожайность	% к контролю	урожайность	% к контролю
Без удобрений	1,24	100	0,71	100
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	3,13	252,4	1,92	270,4
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	3,99	321,8	2,59	364,8
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,22	340,3	3,24	456,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	3,72	300,0	2,77	390,1
НСП ₀₅	0,54		0,45	

ния травами урожайность сена за два укоса без внесения удобрений составила 1,95 т/га. В процессе окультуривания почвы высвобождение фосфора из торфа идет в очень малых количествах из-за низких валовых его запасов. По этой причине главным образом урожайность трав на удобренных делянках не имеет тенденции к увеличению. Ее колебания по годам обусловлены прежде всего погодными условиями.

При систематическом внесении в подкормках полного минерального удобрения средняя урожайность многолетних трав за те же годы повысилась до 5,05–7,46 т/га, т.е. в 2,6–3,8 раза. За счет удобрений собрано столько продукции, сколько получают в настоящее время с 4–6 удобренных гектаров. Максимальная урожайность сена трав получена при внесении самой высокой нормы фосфорно-калийных удобрений (по 120 кг д.в./га).

Увеличение нормы азота от 60 до 120 кг д. в./га не дало положительного результата. Объясняется это, во-первых, наличием в почве доступного азота, во-вторых, полеганием травостоя, что приводило к большим потерям продукции.

Анализ действия минеральных удобрений показывает, что с повышением норм внесения их эффективность снижается. Например, при внесении $N_{30}P_{60}K_{60}$ на каждый килограмм действующего вещества удобрений получено в среднем за 14 лет по 32,2 кг сена, в то время как на фоне $N_{60}P_{90}K_{90}$ – по 27 кг, $N_{90}P_{120}K_{120}$ – по 22,7 кг. Увеличение нормы NPK удобрений со 150 до 240 кг снизило эффективность каждого килограмма действующего вещества на 20%, до 330 кг – на 34%. Существенное снижение получено и у азотных удобрений. Повышение нормы азота от 60 до 120 кг снизило прибавку урожайности сена от каждого килограмма на 19,2%.

Самые высокие прибавки сена трав от удобрений получены во втором укосе. В среднем за 14 лет урожайность трав на удобренных делянках во втором укосе возросла на 270,4–456,3%, в то время как в первом – только на 252,4–340,3%. Такое существенное

различие объясняется недостатком питательных веществ на контрольных делянках. Так, если без внесения удобрений урожайность трав во втором укосе снижалась в 1,8 раза, то на фоне $N_{30}P_{90}K_{90}$ – в 1,6 раза, $N_{60}P_{90}K_{90}$ – в 1,5 раза, $N_{90}P_{120}K_{120}$ – в 1,3 раза. Полученные данные позволяют утверждать, что формирование полноценного второго укоса многолетних трав возможно только при внесении минеральных удобрений.

Многолетними исследованиями установлено, что высокая эффективность минеральных удобрений на осушаемых торфяных почвах определяется условиями водного режима в корнеобитаемом слое. Определенный дефицит влаги в почве отмечается только в отдельные засушливые периоды и при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

Минеральные удобрения оказали влияние на изменение видового состава травостоя. Ежегодное внесение минеральных удобрений способствовало активному развитию костреца безостого, который на удобренных делянках занимал господствующее положение (87–92%) начиная со 2-го года пользования. Самое высокое содержание (5%) клевера красного установлено на контрольных делянках в 1-й год пользования. На 2-й год пользования в составе травосмеси его уже не обнаружено. Максимальное содержание в травостое овсяницы луговой (10–36%) отмечено в первые 2 года пользования

при внесении 120 кг д.в. азота. По мере старения трав на контрольном варианте резко увеличивается количество сорной растительности. Так, на 8-й год пользования доля сорняков в травостое здесь составляла 75%. На удобренных вариантах культурные травы также изреживаются и появляется сорная растительность. На варианте $N_{60}P_{90}K_{90}$ она составляла на четырнадцатый год пользования 38%, на варианте $N_{120}P_{90}K_{90}$ – 49%. Сорная растительность представлена в основном крапивой двудомной, лебедой обыкновенной и молоканом татарским.

По результатам химического анализа растений установлено существенное влияние минеральных удобрений не только на

величину урожайности многолетних трав, но и их качество (см. табл. 3).

Анализ 14-летних данных показывает, что качество сена многолетних трав изменяется по укосам и в зависимости от погодных условий вегетационного периода. Так, в среднем за 14 лет содержание азота в сене трав второго укоса на контрольных делянках было выше, чем в первом, на 30,4%, фосфора – на 50%. И это естественно, так как во вторую половину вегетационного периода более активно протекают процессы минерализации органического вещества торфа, в результате которых накапливаются подвижные соединения питательных веществ. Калий на контрольных делянках потребляется растениями относительно равномерно в течение вегетационного периода, поскольку он почти весь находится в доступной форме.

Ежегодные подкормки многолетних трав малыми дозами минеральных удобрений ($N_{30}P_{60}K_{60}$) обеспечивают максимальные прибавки питательных веществ в сене второго укоса по сравнению с первым. Например, на фоне $N_{30}P_{60}K_{60}$ содержание азота во втором укосе больше на 51,2%, $N_{60}P_{90}K_{90}$ – на 26,4%, $N_{90}P_{120}K_{120}$ – на 24,4%, калия соответственно на 42,5; 29,3; 13,7%. Содержание фосфора в сене многолетних трав первого и второго укосов различалось незначительно (9,3–17,6%). Столь существенные различия

объясняются, во-первых, дефицитом питательных веществ для формирования второго укоса на фоне $N_{30}P_{60}K_{60}$, во-вторых, снижение прибавки содержания азота и калия в сене второго укоса при внесении относительно высоких норм минеральных удобрений указывает на их сохранение в почве в период формирования первого укоса.

Содержание клетчатки в сене трав первого укоса по всем вариантам на 2,3–5,5% выше, чем во втором. Объясняется это тем, что травы второго укоса убираются в более молодом возрасте, как правило, до массового образования генеративных органов.

Травы на контрольных делянках имели низкое содержание фосфора и калия, достаточное количество кальция. Тем самым еще раз подтвердились результаты анализов почвенных образцов, что среднемошная торфяная почва слабо обеспечена подвижными формами фосфора и калия. Внесение минеральных удобрений повысило содержание фосфора в 3–3,7 раза, калия в 1,6–1,9 раза. Следует отметить, что при этом содержание калия и азота в сене на удобренных делянках не превышало допустимое количество.

Расчеты показывают, что в среднем ежегодный вынос азота урожаем составлял 44 кг/га на неудобренных делянках и 145 кг/га при внесении $N_{60}P_{90}K_{90}$, т.е. выше в 3,3 раза (см. табл. 4).

Табл. 3. Химический состав сена многолетних трав в зависимости от уровня минерального питания (в среднем за 1982–1995 гг.), % на абсолютно сухое вещество

Table. 3. Chemical composition of hay from perennial grasses depending on the level of mineral nutrition (on average for 1982–1995), % of the absolutely dry matter

Вариант	Азот	Фосфор	Калий	Кальций	Клетчатка	Зола
<i>Первый укос</i>						
Без удобрений	1,84	0,10	1,36	0,66	29,18	4,53
$N_{30}P_{60}K_{60}$	1,62	0,34	1,81	0,56	30,38	4,98
$N_{60}P_{90}K_{90}$	1,63	0,37	2,20	0,54	32,00	5,98
$N_{90}P_{120}K_{120}$	1,92	0,43	2,48	0,45	31,48	6,37
$N_{120}P_{90}K_{90}$	1,91	0,38	2,13	0,71	30,33	5,80
<i>Второй укос</i>						
Без удобрений	2,40	0,15	1,42	0,77	25,92	5,71
$N_{30}P_{60}K_{60}$	2,45	0,40	2,58	0,68	29,65	6,58
$N_{60}P_{90}K_{90}$	2,06	0,42	2,84	0,66	30,72	6,66
$N_{90}P_{120}K_{120}$	2,39	0,47	2,82	0,70	29,29	7,24
$N_{120}P_{90}K_{90}$	2,65	0,47	2,98	0,69	30,37	6,93

Табл. 4. Вынос азота урожаем сена многолетних трав из среднетекстурной торфяной почвы (в среднем за 1982–1995 гг.), кг/га

Table 4. Removal of nitrogen by the hay of perennial grasses from medium-textured peat soil (average for 1982–1995), kg/ha

Вариант	Средняя урожайность, т/га	Содержание азота, %	Вынос урожая	
			всего	из почвы
Без удобрений	1,95	2,40	44	44
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	7,46	1,94	145	85

Следует подчеркнуть, что более высокое содержание азота в сене многолетних трав на контрольных делянках объясняется дисбалансом в обеспечении растений элементами питания, прежде всего фосфором. Потребность многолетних трав в азоте на удобренных делянках удовлетворялась за счет минеральных удобрений только на 41,4%. Полученные данные подтверждают, что для среднетекстурной торфяной почвы характерен отрицательный баланс азота. К аналогичному выводу ранее пришли В.Н. Ефимов, В.П. Царенко [10], которые отмечают, что растения используют около 40% азота из удобрений и 60% из почвы. Следовательно, с увеличением урожая вынос азота как из удобрений, так и из почвы возрастает.

В 2011 г. на варианте N₆₀P₉₀K₉₀ возобновили внесение удобрений. Учет урожайности сена многолетних трав проводили в течение четырех лет (см. табл. 5). На контрольных делянках в первом укосе в среднем за 4 года урожайность составила 1,58 т/га, во втором –

0,95 т/га. При этом на величину первого укоса существенное влияние оказывала среднесуточная температура воздуха ($r = 0,76$). Для формирования второго укоса решающее значение имели осадки в течение июля–августа ($r = 0,68$). Важно отметить, что без внесения удобрений произошло массовое внедрение сорных растений.

Их доля в сформировавшейся фитомассе превышала 90%. Из культурных видов трав сохранился только кострец безостый (2–3%).

Интересные с практической точки зрения результаты получены при внесении минеральных удобрений. Во-первых, удобрения обеспечили в среднем за четыре года прибавку урожайности сена трав в первом укосе 1,25 т/га (79%), во втором – 1,39 т/га (246,3%). Полученные данные позволяют сделать вывод о сохраняющемся дефиците питательных веществ на контрольных делянках, особенно для формирования второго укоса трав. Внесение минеральных удобрений снижает долю разнотравья в 2,5–3,0 раза. Кострец безостый очень положительно реагирует на подкормку минеральными удобрениями. На основании 33-летних исследований необходимо отметить, что на торфяных почвах при интенсивном осушении (0,9–1,2 м) кострец безостый сохраняется в травостое в течение длительного времени. За этот период все другие компоненты травосмеси (овсяница луговая, тимфеевка луговая) исчезли полностью в первые 10 лет, клевер красный – через 5 лет.

Табл. 5. Урожайность сена многолетних трав на среднетекстурной торфяной почве, т/га

Table 5. Hay yield of perennial grasses on medium-textured peat soil, t/ha

Вариант	2011 г.		2012 г.		2013 г.		2014 г.	
	первый укос	второй укос	первый укос	второй укос	первый укос	второй укос	первый укос	второй укос
Без удобрений	1,58	0,95	1,26	0,69	2,07	1,38	1,41	0,78
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	2,83	2,34	1,56	1,08	3,15	3,06	3,78	2,88
НСР _{0,95}	0,32	0,21	0,29	0,34	0,25	0,19	0,26	0,23

ВЫВОДЫ

1. Многолетние травы, выращиваемые на торфяных почвах без внесения удобрений, страдают от недостатка питательных веществ в начале вегетации при холодной весне и постоянно во второй половине вегетационного периода. На контрольных делянках в среднем за 14 лет пользования травами урожайность сена за два укоса составила 1,95 т/га.

2. Внесение полного минерального удобрения повышает урожайность сена многолетних трав в 2,6–3,8 раза. Увеличение нормы внесения NPK удобрений от 150 до 240 кг снижает прибавку урожайности на 20%, до 330 кг – на 34%. Повышение нормы азотных удобрений от 60 до 120 кг сокращает их эффективность на 19,2%.

3. Максимальные прибавки (270,4–456,3%) урожайности сена трав от удобрений получены во втором укосе, что указывает на недостаток питательных веществ в почве. Формирование полноценного второго укоса многолетних трав возможно только при внесении минеральных удобрений.

4. Минеральные удобрения обеспечивают господствующее положение (87–92%) коостреца безостого в травосмеси начиная со второго года пользования. Без внесения удобрений на 8-й год пользования сорняки занимают доминирующие позиции (75–87%). Сорная растительность представлена в основном крапивой двудомной, лебедой обыкновенной и молоканом татарским.

5. Качество сена многолетних трав напрямую зависит от обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ. В первую очередь это касается фосфора, содержание которого в сене на контрольных делянках 0,1–0,15%. Внесение удобрений повышает содержание фосфора в сене в 3–3,7 раза, калия – в 1,6–1,9 раза. Азотные удобрения не обеспечивают достоверной прибавки протеина в сене, что указывает на значительное содержание азота в почве. Потребность многолетних трав в азоте на удобренных делянках удовлетворяется за счет минеральных удобрений на 41,4%.

6. Возобновление удобрения старовозрастных трав (30 лет) нормой $N_{60}P_{90}K_{90}$ увеличивает урожайность сена в среднем за четыре года в первом укосе на 79,1%, во втором – на 246,3%. Содержание разнотравья при этом снижается в 2,5–3,0 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флейшер М. Деятельность общества поощрения культуры болот в Германской империи за первые 25 лет его существования // Развитие культуры болот за последние 25 лет. СПб.: типография В.Ф. Киршбаума, 1910. С. 1–12.
2. Головкин Д.Г. Земледелие на торфяных почвах и осушаемых пойменных землях: монография. Л.: Колос, 1975. 232 с.
3. Скоропанов С.Г. Освоение и использование торфяно-болотных почв: монография. Минск: изд-во Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1961. 162 с.
4. Рудой Н.Г. Продуктивность кормовых культур на осушаемых торфяных почвах в Восточной Сибири // Производство кормов на мелиорируемых природных угодьях Сибири. Новосибирск: РПО СО ВАСХНИЛ, 1991. С. 81–87.
5. Балакай Г.Т., Юрченко И.Ф., Лентяева Е.А., Ямалова Г.Х. Повышение ответственности сельхозтоваропроизводителей за воспроизводство почвенного плодородия мелиорируемых земель // Агрохимический вестник. 2015. № 2. С. 29–33.
6. Моторин А.С. Рекультивация выработанных торфяников и пирогенных образований Западной Сибири: монография. Тюмень: издательство ГАУ Северного Зауралья, 2013. 203 с.
7. Кирейчева Л.В. Инновационные технологии повышения продуктивности мелиорируемых земель Барабинской низменности // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 45–50.
8. Пуртов Г.М., Туровинин Г.М. Эффективность минеральных удобрений на сеяном травостое осушенного низинного болота в лесостепи Тюменской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1983. № 5. С. 45–49.
9. Ефимов В.Н., Царенко В.П. Удобрение сельскохозяйственных культур на мелиорированных торфяных почвах: монография. М.: Росагропромиздат, 1988. 124 с.

10. Моторин А.С., Пашинская Л.А. Урожайность и качество сена многолетних трав в зависимости от уровня минерального питания // Интенсификация кормопроизводства в Северном Зауралье. Новосибирск: РПО СО ВАСХНИЛ, 1991. С. 89–98.
11. Сысо А.И. Природно-агрохимические ресурсы как фактор сохранения плодородия Сибирских почв // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 5. С. 24–27.
12. Семененко Н.Н., Каранкевич Е.В., Авраменко Н.М. Влияние комплекса агробиотехнологических приемов на продуктивность культур севооборота, эффективность удобрений и плодородие торфяно-минеральных почв Полесья // Почвоведение и агрохимия. 2017. № 1. С. 94–109.
13. Телицын В.Л. Техногенная эволюция и оптимальное использование почв болотных систем: монография. Новосибирск: издательство СО РАН, 2004. 264 с.
14. Синявский В.А. Особенности диагностики питания растений азотом, фосфором и калием на торфяно-болотных почвах // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1991. № 5. С. 15–19.

REFERENCES

1. Fleisher M. Deyatel'nost' obshchestva pooshchreniya kul'tury bolot v Germanskoi imperii za pervye 25 let ego sushchestvovaniya [Activities of the society of bog cultivation in the German Empire during the first 25 years of its existence]. *Razvitie kul'tury bolot za poslednie 25 let* [Development of bog cultivation during the last 25 years]. St. Petersburg, Tipografiya V.F. Kirshbauma Publ., 1910, pp. 1–12. (In Russian).
2. Golovko D.G. *Zemledelie na torfyanykh pochvakh i osushaemykh poimennykh zemlyakh* [Agriculture on peat soils and drained alluvial lands: monograph]. Leningrad: Kolos Publ., 1975. 232 p. (In Russian).
3. Skoropanov S.G. *Osvoenie i ispol'zovanie torfyano – bolotnykh pochv* [Reclamation and use of peat-bog soils]. Minsk: Akademia sel'skokhozyaystvennykh nauk BSSR Publ., 1961. 162 p. (In Russian).
4. Rudoi N.G. Produktivnost' kormovykh kul'tur na osushaemykh torfyanykh pochvakh v Vostochnoi Sibiri [Productivity of fodder crops on drained peat soils in Eastern Siberia] *Proizvodstvo kormov na melioriruemyykh prirodnnykh ugod'yakh Sibiri* [Fodder production on reclaimed lands of Siberia]. Novosibirsk: RPO SO VASKhNIL Publ., 1991. pp. 81–87. (In Russian).
5. Balakai G.T., Yurchenko I.F., Lentyaeva E.A., Yamalova G.Kh. Povyshenie otvetstvennosti sel'khozovoproizvoitelei za vosproizvodstvo pochvennogo plodorodiya melioriruemyykh zemel' [Increase of agriculturists' responsibility for the reproduction of soil fertility reclaimed lands]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Herald], 2015, no. 2, pp. 29–33. (In Russian).
6. Motorin A.S. *Rekul'tivatsiya vyrabotannykh torfyanikov i pirogennykh obrazovaniy Zapadnoi Sibiri* [Reclamation of depleted peat bogs and pyrogenic formations of Western Siberia]. Tyumen, GAU Severnogo Zaural'ya Publ., 2013. 203 p. (In Russian).
7. Kireicheva L.V. Innovatsionnye tekhnologii povysheniya produktivnosti melioriruemyykh zemel' Barabinskoi nizmennosti [Innovative technologies to increase the productivity of reclaimed land of Baraba lowlands]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo* [Melioration and Water Management], 2015, no. 6, pp. 45–50. (In Russian).
8. Purtov G.M., Turovinin G.M. Effektivnost' mineral'nykh udobrenii na seyanom travostoe osushennogo nizinnogo bolota v lesostepi Tyumenskoi oblasti [Efficiency of mineral fertilizers on artificial seeding of drained low bog of the forest-steppe of Tyumen region]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 1983, no. 5, pp. 45–49. (In Russian).
9. Efimov V.N., Tsarenko V.P. *Udobrenie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na meliorirovannykh torfyanykh pochvakh* [Fertilization of agricultural crops on reclaimed peat soils]. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 1988, 124 p. (In Russian).
10. Motorin A.S., Pashinskaya L.A. Urozhainost' i kachestvo sena mnogoletnikh trav v zavisimosti ot urovnya mineral'nogo pitaniya [Yield and quality of hay of perennial grasses depending on the level of mineral nutrition]. *Intensifikatsiya kormoproizvodstva v Severnom Zaural'e* [Intensification of fodder production in Northern Trans-Ural Region]. Novosibirsk, RPO SO VASKhNIL Publ., 1991, pp. 89–98. (In Russian).

11. Syso A.I. Prirodno – agrokhimicheskie resursy kak faktor sokhraneniya plodorodiya Sibirskikh pochv [Natural agrochemical resources as a factor of preserving the fertility of Siberian soil]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo* [Melioration and Water Management], 2016, no. 5, pp. 24–27. (In Russian).
12. Semenenko N.N., Karankevich E.V, Avramenko N.M. Vliyaniye kompleksa agrobiotekhnologicheskikh priemov na produktivnost' kul'tur sevooborota, effektivnost' udobrenii i plodorodie torfyano – mineral'nykh pochv Poles'ya [Effect of agro-biotechnological approaches on the productivity of crop rotation, efficiency of fertilizers and fertility of peat-mineral soils of Polesye]. Minsk, *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil Science and Agricultural Chemistry], 2017, no. 1. pp. 94–109. (In Russian).
13. Telitsyn V.L. *Tekhnogennaya evolyutsiya i optimal'noe ispol'zovanie pochv bolotnykh system* [Technogenic evolution and optimal use of bog soils]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2004, 264 p. (In Russian).
14. Sinyavskii V.A. Osobennosti diagnostiki pitaniya rastenii azotom, fosforom i kaliem na torfyano-bolotnykh pochvakh [Diagnostics features of plant feeding with nitrogen, phosphorus and potassium on peat-bog soils]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 1991, no. 5, pp. 15–19. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Моторин А.С.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Государственного аграрного университета Северного Зауралья; Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук; **адрес для переписки:** 625501, Россия, Тюменская область, Тюменский район, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, e-mail: a.s.motorin@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Motorin A.S.**, Doctor of Science in Agriculture, Professor State Agrarian University of the Northern Trans-Ural Region; The Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Ural Region – Branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; **address:** 2, Burlaki st., Moskovsky village, Tyumen district, Tyumen region, 625501 Russia; e-mail: a.s.motorin@mail.ru

Финансовая поддержка:

Работа выполнена по госзаданию (Приоритетное направление X 10.3.145 Проект X 10.3.145).

Дата поступления статьи 10.04.2018

Received by the editors 10.04.2018



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-3

УДК 575.167

ИЗУЧЕНИЕ АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БАКТЕРИЙ, ПОДАВЛЯЮЩЕЙ СИНТЕЗ ФЕНАЗИНОВ *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*

¹Донченко А.С., ²Фоменко В.В., ²Васильев В.Г., ^{1,3}Афонюшкин В.Н.,

¹Донченко Н.А., ³Козлова Ю.Н., ¹Коптев В.Ю.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова
Сибирского отделения Российской академии наук

Новосибирск, Россия

³Институт химической биологии и фундаментальной медицины
Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

Для цитирования: Донченко А.С., Фоменко В.В., Васильев В.Г., Афонюшкин В.Н., Донченко Н.А., Козлова Ю.Н., Коптев В.Ю. Изучение антагонистической активности бактерий, подавляющей синтез феназинов *Pseudomonas aeruginosa* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 23–29. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-3

For citation: Donchenko A.S., Fomenko V.V., Vasiliev V.G., Afonyushkin V.N., Donchenko N.A., Kozlova Yu.N., Koptev V.Yu. Izuchenie antagonistscheskoi aktivnosti bakterii, podavlyayushchei sintez fenazinov *Pseudomonas aeruginosa* [The study of the antagonistic activity of bacteria suppressing the synthesis of phenazines *Pseudomonas aeruginosa*]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 23–29. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-3

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Цель исследования – поиск микроорганизмов, способных подавлять реакции чувства кворума, связанных с продукцией феназинов (пиоцианина). Образование пиоцианина, относящегося к оксифеназинам, является одним из индикаторов реакции чувства кворума. Для поиска антагонистически активных штаммов бактерий проводили сокультивирование микроорганизмов с культурами синегнойной палочки и определяли подавление продукции оксифеназинов. Для поиска штаммов, подавляющих продукцию пиоцианина, использовали 14 культур бактерий родов *Pseudomonas*, *Acinetobacter*,

THE STUDY OF THE ANTAGONISTIC ACTIVITY OF BACTERIA SUPPRESSING THE SYNTHESIS OF PHENAZINES *PSEUDOMONAS AERUGINOSA*

¹Donchenko A.S., ²Fomenko V.V.,

²Vasiliev V.G., ^{1,3}Afonyushkin V.N.,

¹Donchenko N.A., ³Kozlova Yu.N.,

¹Koptev V.Yu.

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Novosibirsk Institute of Organic Chemistry
named after N.N. Vorozhtsov

Novosibirsk, Russia

³Institute of Chemical Biology and Fundamental
Medicine of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences

Novosibirsk, Russia

The purpose of the study was the search for microorganisms capable of suppressing quorum feelings associated with the production of phenazines (pyocyanin). The formation of pyocyanine, related to oxyphenazines, is one of the indicators of the quorum-sensing reaction. In order to search for antagonistically active bacterial strains, the microorganisms were co-cultured with the cultures of *Pseudomonas aeruginosa* wherein the suppression of oxyphenazine production was determined.

Enterobacter, *Staphylococcus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Sphingobacterium*, *Lactobacillus*, *Weisella*. Пиоцианин последовательно экстрагировали хлороформом и 0,2М соляной кислоты, затем его содержание определяли спектрофотометрически при длине волны 520 нм. Обнаружено несколько культур бактерий, характеризующихся способностью подавлять продукцию оксифеназина в тестах по сокультивированию с синегнойной палочкой. Выявленные микроорганизмы относились к микроорганизмам родов *Acinetobacter* и *Pseudomonas*, *Lactobacillus* и *Weisella*. Критерий Краскела – Уоллиса - $H(5, N = 21) = 11,86902$ статистически значим ($p = 0,0366$). Распределение культур по ингибированию продукции оксифеназинов в опытах по сокультивированию с *Pseudomonas aeruginosa* не было биномиальным, что предполагает неслучайный характер распределения культур по результатам сокультивирования. Уровни ингибирования продукции феназинов для различных таксонов бактерий в тестах по сокультивированию статистически значимо отличались друг от друга. Наибольшая сумма рангов относится к группе *Lactobacillus* spp., и данный таксон в наибольшей степени влияет на содержание феназинов. Снижение концентрации конечного продукта (пиоцианина), синтез которого инициируется бутанолгомосеринлактоном, может быть связан с механизмами кворум-квенчинга и механизмами антагонистической активности микроорганизмов, влияющих на продукцию упомянутых выше метаболитов *P. aeruginosa*.

Ключевые слова: *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter calcoaceticus*, хроматомасспектрометрия, пиоцианин, бутанолгомосеринлактон

ВВЕДЕНИЕ

Синегнойная палочка (*P. aeruginosa*) является причиной раневых инфекций, фиброзного цистита [1], фиброзной хронической пневмонии у людей и животных с признаками иммунодефицита. Наибольшая проблема, обуславливающая сложность терапии хронических инфекций, ассоциированных с *P. aeruginosa*, – образование данной бактерией биопленок [2] и активизация механизмов устойчивости к антибиотикам [3]. Синтез факторов патогенности (эластаза, гемолизина, пиоцианин, биопленки и др.) регулируется с использованием механизмов чувства кворума [4–9]. В частнос-

We used 14 cultures of bacteria from the genera *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Sphingobacterium*, *Lactobacillus*, *Weisella* to find strains suppressing the production of pyocyanin. Piocanin was successively extracted with chloroform and 0.2 M hydrochloric acid, after which its content was determined spectrophotometrically at a wavelength of 520 nm. Several bacterial cultures characterized by the ability to inhibit the production of oxyphenazine in co-cultivation tests with *Pseudomonas aeruginosa* were found. The identified microorganisms belonged to the microorganisms of the genera *Acinetobacter* and *Pseudomonas*, *Lactobacillus* and *Weisella*. The Kruskal-Wallis criterion - $H(5, N = 21) = 11.86902$ is statistically significant ($p = 0.0366$). The distribution of cultures in the inhibition of the production of oxyphenazines in the experiments on co-cultivation with *Pseudomonas aeruginosa* was not binomial, which implies the non-random nature of the distribution of cultures according to the results of co-cultivation. Thus, the levels of inhibition of the production of phenazines for different taxa of bacteria in the co-cultivation tests were statistically significantly different from each other. The largest sum of ranks belongs to the group *Lactobacillus* spp. and this taxon has the greatest effect on the content of phenazines. The decrease in the concentration of the final product (pyocyanin), the synthesis of which is initiated by butanol-homoserine lactone, can be associated with the mechanisms of quorum-quenching, and the mechanisms of antagonistic activity of microorganisms that affect the production of the aforementioned metabolites of *P. aeruginosa*.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter calcoaceticus*, chromato-mass spectrometry, pyocyanin, butanol-homoserine lactone

ти, QS регуляция *P. aeruginosa* осуществляется с участием четырех молекул N-(3-oxododecanoyl)-homoserine lactone (OdDHL) [10], N-butyrylhomoserine lactone (BHL) [11], 2-heptyl-3-hydroxy-4-quinolone (PQS) [12], 2-(2-hydroxyphenyl)-thiazole-4-carbaldehyde (IQS) [13]. Образование пиоцианина (представителя феназинов) регулируется ацилгомосеринлактонами. С одной стороны, его следует рассматривать как антибактериальный агент, с другой – подавление реакций чувства кворума в процессе конкуренции бактерий может быть эволюционно выгодным именно в части подавления продукции пиоцианина. Таким образом, можно ожидать наличие сложных механизмов конку-

ренции QS систем разных видов бактерий. Выявление микроорганизмов, способных модифицировать QS реакции *P. aeruginosa*, может иметь существенное медицинское значение в качестве средства подавления таких факторов патогенности *P. aeruginosa*, как образование биопленок, продукции пиоцианина, эластазы и т.д.

Цель исследования – поиск микроорганизмов, способных подавлять реакции чувства кворума, которые связаны с продукцией феназинов, ингибируя синтез факторов патогенности *P. aeruginosa*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Микробиологические исследования проводили на базе Института химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения Российской академии наук (ИХБФМ СО РАН). Для исследований использовали культуры и изоляты микроорганизмов, депонированные в коллекции микроорганизмов лаборатории фармакогеномики ИХБФМ СО РАН. Культивирование микроорганизмов проводили на Эугоник агаре и триптиказо-соевом бульоне.

Для выявления штаммов бактерий, подавляющих продукцию феназинов (в том числе пиоцианина), культуру *P. aeruginosa* штамма 668 выращивали до стационарной фазы, сопровождающейся накоплением пиоцианина в объеме 1000 мл. Клетки осаждали центрифугированием, отмывали физиологическим раствором, ресуспендировали в 100 мл триптиказо-соевого бульона и вносили в пробирки с 5 мл суточных культур тестируемых бактерий других видов в количестве 1 мл (в концентрации большей, чем была с момента начала синтеза пиоцианина). Также ставили отрицательные контроли с тестируемыми культурами.

Культуры инкубировали в течение суток, затем отбирали образцы для определения продукции пиоцианина. Пиоцианин последовательно экстрагировали хлороформом и 0,2М HCl, после чего его содержание определяли спектрофотометрически при длине волны 520 нм [14]. Все тесты проводили в трех повторностях.

Данные обрабатывали методом непараметрической статистики, статистическую значимость различий оценивали по методу Манна – Уитни. Анализ вариаций оценивали по Краскелу – Уоллису.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для поиска культур, ингибирующих продукцию пиоцианина *P. aeruginosa*, выбрано три штамма (№ 668, 669, 671) из коллекции лаборатории молекулярной микробиологии ИХБФМ СО РАН, стабильно продуцирующих пиоцианин. Для поиска штаммов, подавляющих продукцию пиоцианина, использовали 14 культур бактерий родов *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Sphingobacterium*, *Lactobacillus*, *Weisella*.

Распределение культур по ингибированию продукции оксифеназинов в опытах по сокультивированию с *P. aeruginosa* не было биномиальным (см. рис. 1), что предполагает неслучайный характер распределения культур по результатам сокультивирования.

Наибольшей ингибирующей активностью обладали все культуры рода *Lactobacillus* и *Weisella*. Большая часть микроорганизмов (родов *Staphylococcus*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*)

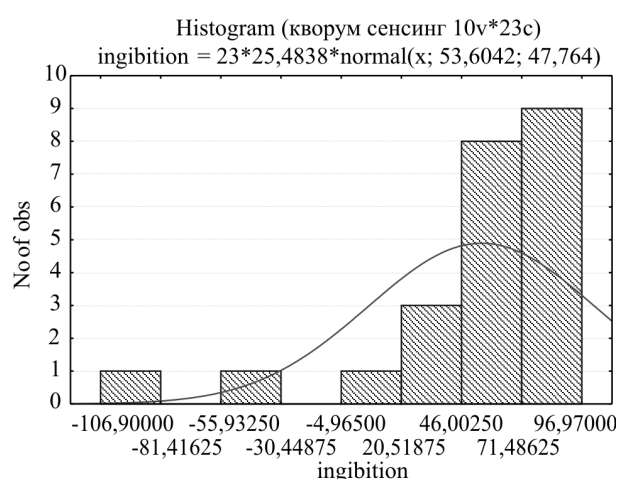


Рис. 1. Распределение культур микроорганизмов по ингибированию продукции феназинов при сокультивировании с *P. aeruginosa*

Fig. 1. Distribution of microorganism cultures in the inhibition of the production of phenazines in co-cultivation with *P. aeruginosa*

подавляла продукцию оксифеназинов в тестах по сокультивированию в меньшей степени (см. табл.1, 2). В культурах *Serratia* spp. В 10.2 содержание оксифеназинов не отличалось от содержания данного пигмента в монокультурах *P. aeruginosa*. Вариабельность полученных значений была довольно высокой. Статистически значимо различалось только содержание оксифеназинов в тестах по сокультивированию культур *P. aeruginosa* с лактобактериями и вейселлами ($p < 0.05$).

Ингибирующая активность микроорганизмов семейства Lactobacillaceae варьировала от 93,379 до 96,97% (см. табл. 2).

Критерий Краскела – Уоллиса – Н (5, N = 21) = 11,87 статистически значим ($p = 0,0366$). Таким образом, уровни ингибирования продукции феназинов для различных таксонов бактерий в тестах по сокультивированию статистически значимо отличаются друг от друга. Наибольшая сумма рангов относится к группе *Lactobacillus* spp., и

данный таксон в наибольшей степени влияет на содержание феназинов, наименьшая сумма рангов наблюдается для *Serratia* spp. (см. рис. 2).

Использование разных штаммов *P. aeruginosa* обеспечивало получение сходных, статистически не различающихся результатов по ингибированию продукции оксифеназинов *P. aeruginosa*, но повышало уровень дисперсии. Наибольший уровень ингибирования и наибольшую однородность тестов по выявлению ингибирования продукции феназинов наблюдали при использовании штамма *P. aeruginosa* 668.

Следует отметить факт тотального подавления синтеза пиоцианина лактобактериями. В зарубежной литературе [15] встречаются данные о том, что синтез пиоцианина в культуре *P. aeruginosa* осуществляется в ответ на достижение пороговой концентрации медиаторов кворум-сенсинга (AI-1). К таким молекулам относится N-бутаноил-гомосеринлактон (см. рис. 1).

Табл. 1. Активность продукции оксифеназинов *P. aeruginosa* в тестах по сокультивированию
Table 1. Activity of production of oxyphenazines in the experiments on co-cultivation with *P. aeruginosa*

Таксономическая принадлежность	Номер штамма	n	Oxyphenazine, OD 520				
			Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Ошибка средней	Доверительный интервал -95%	Доверительный интервал +95%
<i>Lactobacillus + Weisella</i>	L	5	0,010**	0,0009	0,0004	0,0094	0,0117
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	Sah D 13.3	3	0,1303	0,0946	0,0546	-0,104	0,3652
<i>Staphylococcus cohnii</i>	H 21.2	3	0,106	0,055	0,031	-0,03	0,243
<i>Pseudomonas oryzae</i>	Sah D 16.3	3	0,1033	0,068	0,039	-0,065	0,272
<i>Enterobacter oryza</i>	Sah D 17.2	3	0,105	0,063	0,036	-0,053	0,263
<i>Serratia</i> spp.	B 10.2	3	0,2046	0,138	0,0798	-0,139	0,5468
<i>P. aeruginosa</i>	P	3	0,269	0,132	0,076	-0,06	0,597

** $p < 0.01$.

Табл. 2. Ингибирование продукции феназинов *P. aeruginosa* в присутствии тестируемых штаммов, %
Table 2. Inhibition of the production of phenazines by *P. aeruginosa* in the presence of the tested strains, %

Таксономическая принадлежность	Номер штамма	n	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Ошибка средней	Доверительный интервал -95%	Доверительный интервал +95%
<i>Lactobacillus + Weisella</i>	L	5	93,6154	3,06232	1,36951	89,813	97,4178
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	Sah D 13.3	3	51,6073	20,95957	12,10102	-0,459	103,6738
<i>Staphylococcus cohnii</i>	H 21.2	3	55,5993	19,36109	11,17813	7,504	103,6950
<i>Pseudomonas oryzae</i>	Sah D 16.3	3	59,8317	16,04654	9,26448	19,970	99,6935
<i>Enterobacter oryza</i>	Sah D 17.2	3	60,3943	12,51503	7,22556	29,305	91,4834
<i>Serratia</i> spp.	B 10.2	3	-4,5945	96,39919	55,65610	-244,063	234,8743

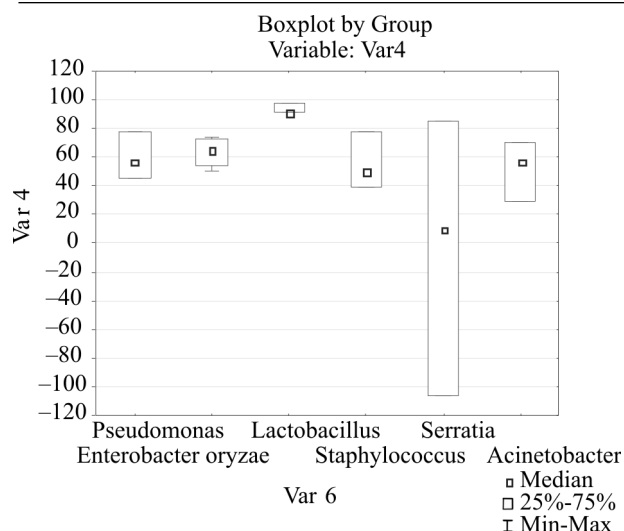


Рис. 2. Сравнение медиан ингибирования уровней ингибирования феназинов продуцируемых *P. aeruginosa* для разных таксономических групп микроорганизмов
Fig. 2. Comparison of the inhibition medians of phenazine level of inhibition produced by *P. aeruginosa* for different taxonomic groups

Первичный скрининг культур бактерий по их способности к подавлению продукции пиоцианина тест-штаммами *Pseudomonas aeruginosa* позволяет сузить круг поиска для дальнейшего хроматомасспектрометрического анализа снижения количества бутаноилгомосеринлактона (BHL). С другой стороны, предложенный методический подход следует считать удобным тестом для интегральной оценки антагонистической активности микроорганизмов в отношении *P. aeruginosa*, так как в тестах по сокультивированию может быть затруднительным разделение бактерий разных видов при подсчете числа КОЕ. Использование ПЦР в режиме реального времени не позволяет оценить жизнеспособность клеток. Количество оксифеназинов в культуральной жидкости будет зависеть как от интенсивности реакций кворум-сенсинга *P. aeruginosa* (что коррелирует с патогенностью данного вида бактерий), так и от интенсивности роста культуры *P. aeruginosa*.

Снижение концентрации конечного продукта (пиоцианина), синтез которого инициируется бутаноилгомосеринлактоном [16], может быть объяснен как механизма-

ми кворум-квенчинга, так и любыми другими механизмами антагонистической активности микроорганизмов, влияющих на продукцию упомянутых выше метаболитов *P. aeruginosa*.

Следует отметить, что бутаноилгомосеринлактон – одна из ключевых молекул, участвующих в системной регуляции кворум-сенсинга, в частности активация rhl QS системы (RhlR-BHL) может являться следствием активации остальных трех QS систем (LasR-OdDhl, PqsR-PQS, IqsR-IQS) как за счет достижения пороговой концентрации бактериальных клеток, так и под влиянием стрессовых воздействий [13, 17–19]. Можно утверждать, что BHL центральное неспецифическое звено QS регуляции и именно по этой причине эту молекулу можно рассматривать в качестве универсального индикатора активации QS реакций *Pseudomonas aeruginosa*. Соответственно и подавление QS реакций *P. aeruginosa*, обусловленных BHL, с помощью пробиотических бактерий имеет больше перспектив ввиду универсальности BHL.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сокультивировании *P. aeruginosa* с рядом штаммов микроорганизмов родов *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Sphingobacterium*, *Lactobacillus*, *Weissella* статистически значимое подавление продукции феназинов (пиоцианина) наблюдали в присутствии бактерий родов *Lactobacillus*, *Weissella* ($p < 0.01$).

REFERENCES

1. Lyczak J.B., Cannon C.L., Pier G.B. Lung infections associated with cystic fibrosis. *Clinical Microbiology Reviews*, 2002, no. 15, pp. 1059–1067.
2. Costerton J.W., Stewart P.S., Greenberg E.P. Bacterial biofilms a common cause of persistent infections. *Science*, 1999, vol. 284: pp. 1318–1322.
3. Chernish R.N., Aaron S.D. Approach to resistant gram-negative bacterial pulmonary infections in patients with cystic fibrosis. *Current*

- Opinion in Pulmonary Medicine*, 2003, no. 9, pp. 509–515.
4. Whiteley M., Lee K.M., Greenberg E.P. Identification of genes controlled by quorum sensing in *Pseudomonas aeruginosa*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1999, vol. 96, pp. 13904–13909.
5. Passador L., Cook J.M., Gambello M.J., Rust L., Iglewski B.H. Expression of *Pseudomonas aeruginosa* virulence genes requires cell-to-cell communication *Science*, 1993, vol. 260, pp. 1127–1130.
6. Pearson J.P., Feldman M., Iglewski B.H., Prince A. *Pseudomonas aeruginosa* cell-to-cell signaling is required for virulence in a model of acute pulmonary infection *Infection and Immunity*, 2000, vol. 68, pp. 4331–4334.
7. de Kievit T.R., Iglewski B.H. Bacterial quorum sensing in pathogenic relationships *Infection and Immunity*, 2000, vol. 68, pp. 4839–4849.
8. Miller M.B., Bassler B.L. Quorum sensing in bacteria *Annual Review of Microbiology*, 2001, vol. 55, pp. 165–199 p.
9. Gray K.M., Passador L., Iglewski B.H., Greenberg E.P. Interchangeability and specificity of components from the quorum-sensing regulatory systems of *Vibrio fischeri* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Bacteriology*, 1994, vol. 176(10), pp. 3076–3080.
10. Pearson J.P., Gray K.M., Passador L., Tucker K.D., Eberhard A., Iglewski B.H., Greenberg E.P. Structure of the autoinducer required for expression of *Pseudomonas aeruginosa* virulence genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1994, vol. 91, pp. 197–201.
11. Pearson J.P., Passador L., Iglewski B.H., Greenberg E.P. A second N-acylhomoserine lactone signal produced by *Pseudomonas aeruginosa*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1995, vol. 92, pp. 1490–1494.
12. Cornforth J.W., James A.T. Structure of a naturally occurring antagonist of dihydrostreptomycin. *The Biochemical Journal*, 1956, vol. 63, pp. 124–130.
13. Lee J., Wu J., Deng Y., Wang J., Wang C., Wang J. et al. A cell-cell communication signal integrates quorum sensing and stress response. *Nature Chemical Biology*, 2013, 9, pp. 339–343. DOI:10.1038/nchembio.1225.
14. Essar D.W., Eberly L., Hadero A., Crawford I.P. Identification and Characterization of genes for second anthranilate synthase in *Pseudomonas aeruginosa*: interchangeability of the two anthranilate synthases and evolutionary implications. *Journal of bacteriology*, 1990, vol. 172(2), pp. 884–900.
15. Whitehead N.A., Barnard A.M.L., Slater H., Simpson N.J.L., Salmond G.P.C. Quorum-sensing in gram-negative bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, 2001, vol. 25, pp. 365–404. DOI:10.1111/j.1574-6976.2001.tb00583.x.
16. Brint J.M., Ohman D.E. Synthesis of multiple exoproducts in *Pseudomonas aeruginosa* is under the control of RhlR-RhlI, another set of regulators in strain PAO1 with homology to the autoinducer-responsive LuxR-LuxI family. *Journal of Bacteriology*, 1995, vol. 177, pp. 7155–7163.
17. Kiratisin P., Tucker K.D., Passador L. LasR, a transcriptional activator of *Pseudomonas aeruginosa* virulence genes, functions as a multimer. *Journal of Bacteriology*, 2002, vol. 184, pp. 4912–4919. DOI: 10.1128/JB.184.17.4912-4919.2002.
18. Ventre I., Ledgham F., Prima V., Lazdunski A., Foglino M., Sturgis J.N. Dimerization of the quorum sensing regulator RhlR: development of a method using EGFP fluorescence anisotropy. *Molecular Microbiology*, 2003, vol. 48, pp. 187–198. DOI: 10.1046/j.1365-2958.2003.03422.x.
19. McKnight S.L., Iglewski B.H., Pesci E.C. The *Pseudomonas* quinolone signal regulates rhl quorum sensing in *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Bacteriology*, 2000, vol. 182, pp. 2702–2708. DOI: 10.1128/JB.182.10.2702-2708.2000.

Информация об авторах

Донченко А.С., академик Российской академии наук, научный руководитель Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук; e-mail: asdon@ngs.ru

Фоменко В.В., кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесохимии и природных биологически активных соединений Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: vladislav@ngs.ru

Васильев В.Г., кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесохимии и природных биологически активных соединений Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: vladislav@ngs.ru

Афонюшкин В.Н., кандидат биологических наук, заведующий сектором молекулярной биологии Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук; e-mail: lisocim@mail.ru

✉ **Донченко Н.А.**, доктор ветеринарных наук, заместитель директора по научной работе Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: tbc2009@yandex.ru

Козлова Ю.Н., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии Института химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: ulona@ngs.ru

Коптев В.Ю., кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории болезней молодняка сельскохозяйственных животных Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук; e-mail: kastrolog@mail.ru

Финансовая поддержка:

Данная работа была частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) Проект 18-016-00045А.

Author information

Donchenko A.S., Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; e-mail: asdon@ngs.ru

Fomenko V.V., Candidate of Science in Chemistry, Senior Researcher of the Laboratory of Wood Chemistry and Natural Biologically Active Compounds, Novosibirsk Institute of Organic Chemistry named after N.N. Vorozhtsov of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: vladislav@ngs.ru

Vasilyev V.G., Candidate of Science in Chemistry, Senior Researcher of the Laboratory of Wood Chemistry and Natural Biologically Active Compounds, Novosibirsk Institute of Organic Chemistry named after N.N. Vorozhtsov of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: vladislav@ngs.ru

Afonyushkin V.N., Candidate of Science in Biology, Sector Head of Molecular Biology of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; e-mail: lisocim@mail.ru

✉ **Donchenko N.A.**, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Head of the Veterinary Department of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: tbc2009@yandex.ru

Kozlova J.N., Candidate of Science in Biology, Junior Researcher of the Laboratory of Molecular Microbiology, Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: ulona@ngs.ru

Koptev V.Y., Candidate of Science in Veterinary Medicine., Senior Researcher, Laboratory of Diseases of Young Farm Animals of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; e-mail: kastrolog@mail.ru

Дата поступления статьи 10.07.2018
Received by the editors 10.07.2018

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИОКОРМА В РАЦИОНАХ МОЛОЧНЫХ КОРОВ И ТАБУННЫХ ЛОШАДЕЙ ЯКУТИИ

Иванов Р.В., Николаева Н.А., Хомподоева У.В., Борисова П.П.

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова
Республика Саха, Якутск, Россия

Для цитирования: Иванов Р.В., Николаева Н.А., Хомподоева У.В., Борисова П.П. Использование криокорма в рационах молочных коров и табунных лошадей Якутии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 30–37. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-4

For citation: Ivanov R.V., Nikolaeva N.A., Hompodoeva U.V., Borisova P.P. Ispol'zovanie kriokorma v ratsionakh molochnykh korov i tabunnykh loshadei Yakutii [The use of cryo-feed in the ration of dairy cows and herd horses of Yakutia]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 30–37. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-4

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты испытаний в Республике Саха эффективности скармливания сухостойным коровам и лошадям при тебеневке криокорма, законсервированного естественным образом. Исследования переваримости питательных веществ рациона коров проведены на 30 коровах симментальской породы, разделенных на три группы (контрольная и две опытные, в рацион которых вводили 4 и 1,5 кг криокорма соответственно). Введение в рацион криокорма повысило уровень обменной энергии и оказало положительное влияние на эффективность энергетического обмена. У коров 1-й опытной группы, в структуре рациона которой криокорм составлял 12% по питательности, переваримость протеина была выше на 5,8%, чем в контрольной. Скармливание криокорма коровам в сухостойный период способствовало поддержанию воспроизводительных качеств, оплодотворение коров составило 90–100%. При тебеневке на криокорме уровень кормления в зимнее время лошадей повышается и потребность животных в элементах питания полностью удовлетворяется. При этом отмечена высокая конеемкость 1 га криокорма, кормовая емкость которого составила 129–142 коне-дня. Преимущество по переваримости органического вещества при тебеневке на криокорме составило 11,9%, сухому веществу – 10,48, сырому протеину – 18,3, сырой клетчатке – 21,9, сырому жиру – 13,3, безазотистым экстрактивными веществами – 11,7%. Обеспеченность энергией организма лошадей в расчете на 100 кг живой массы – 32,6 МДж, что превысило норму на 14,5%. Лучшая переваримость питательных веществ зимне-зеленой массы овса по сравнению с отавой травостоя

THE USE OF CRYO-FEED IN THE RATION OF DAIRY COWS AND HERD HORSES OF YAKUTIA

Ivanov R.V., Nikolaeva N.A.,
Hompodoeva U.V., Borisova P.P.

*Yakut Research Institute
of Agriculture named after M.G. Safronov
Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia*

The paper presents testing results of feeding dry cows and horses with cryo-feed, preserved by using natural techniques, at winter grazing (tebenevka). Research into digestibility of nutrition substances of cow ration was carried out on 30 cows of Simmental breed divided into three groups (control and two experimental ones, whose ration included 4 and 1.5 kg of cryo-feed respectively). The introduction of cryo-feed in the ration of cows increased the level of metabolizable energy and had a positive impact on the efficiency of energy metabolism. Cows of the 1st experimental group, where cryo-feed accounted for 12% of the nutrition ration, showed 5.8% higher protein digestibility than the control group. Feeding cows with cryo-feed in the dry period contributed to the maintenance of reproductive qualities. The percentage of fertilization of cows was 90–100%. It was established that feeding horses on cryo-feed significantly increased their nutritional level at tebenevka in the winter time and fully met the need of animals in feeding elements. This marked a high horse feeding capacity per 1 ha of cryo-feed, which amounted to 129–142 horse days. The advantage in organic matter digestibility at tebenevka on cryo-feed accounted for 11.9%, dry matter – 10.48%, crude protein – 18.3%, crude fiber – 21.9%, crude fat – 13.3%, and nitrogen-free extractive substances – 11.7%. The energy supply of a horse organism per 100 kg of live weight was 32.6 MJ, which exceeded the norm by 14.5%. Better digestibility of nutrients of winter-green mass of oats compared to the grass stand was due to the high content of

обусловлена высоким содержанием каротина и провитамина Е в растениях, законсервированных на корню естественным холодом. Отмечено повышение делового выхода жеребят на 12–14% при тебеневке лошадей на криокорме по сравнению с традиционной технологией.

Ключевые слова: криокорм, сухостойные коровы, симментальская порода, якутская порода лошадей, питательные вещества, воспроизводительная способность

ВВЕДЕНИЕ

Полноценность кормления достигается повышением качества кормов, оптимизацией сроков и совершенствованием технологий заготовки, улучшения состава рационов, применением физиологически обоснованных технологий приготовления кормов и способов их скармливания [1, 2]. В этих целях для удовлетворения потребности животных в высококачественных кормах нередко рассматриваются существующие системы кормопроизводства, совершенствуется структура кормовой базы, ищутся новые кормовые ресурсы, изменяется технология производства ряда кормов и получают все большее применение нетрадиционные корма и кормовые добавки¹. Одним из доступных путей решения этой проблемы является производство природных витаминных кормов, в данном исследовании зеленого криокорма – экологически чистого, высокопитательного зеленого корма с применением естественного холода в качестве консерванта².

Использование криокорма в зимний период позволит восполнить дефицит общей и витаминной питательности местных рационов. Замороженный зеленый корм (криокорм) универсален и обладает самым низким показателем потерь качества – 1,5%. Зеленый криокорм может служить как витаминный корм в дополнение к основному корму. Высокое содержание питательных веществ в криокорме дает возможность улучшить рацион кормления сельскохозяйственных живот-

carotene and provitamin E in plants preserved on the root by natural cold. During the study it was established that the actual foal crop increased by 12–14% at tebenevka with horses on cryo-feed compared to traditional technology.

Keywords: cryo-feed, dry cow, Simmental breed, the Yakut breed of horses, nutrients, reproductive ability

ных на протяжении осенне-зимне-весеннего периодов в условиях Якутии. Прессование зеленого криокорма в тюки и рулоны позволяет сохранить качество корма и транспортировать его на любые расстояния. Улучшение качества зеленого корма и его хранение при консервации естественным холодом достигается при поздних посевах однолетних кормовых культур, когда теплообеспеченность оставшегося вегетационного периода составляет 69–45 °С и уборка кормов производится с наступлением низких температур воздуха. Технология заготовки зеленого замороженного корма позволяет сохранить витамины и питательные вещества в корме, улучшает его качество под действием холода. [3].

Республика Саха (Якутия) относится к числу самых холодных регионов мира. Температура зимой может опускаться ниже –60 °С. Тем не менее якутские лошади выживают круглый год на открытом воздухе, крупный рогатый скот адаптирован к условиям содержания и кормления. Как отмечают К.А. Петров, А.А. Перк, В.В. Осипова, В.Г. Алексеев [4, 5], зимне-зеленые части дикорастущих травянистых растений всегда сохраняют на зиму повышенное содержание питательных и биологически активных веществ, что важно для северного сельского хозяйства, особенно кормопроизводства. По данным Якутской республиканской агрохимической лаборатории криокорм в воздушно-сухом состоянии превышает сено: по каротину в 20,4 раза, по кормовым единицам в

¹Николаева Н.А., Борисова П.П., Алексеева Н.М. Эффективность скармливания зеленого криокорма сухостойным коровам симментальской породы в условиях Якутии // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора М.Г. Сафронова и 60-летию Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова. Воронеж, 2017. С. 126–130.

²Николаева Н.А., Иванов Р.В., Осипов В.Г. Использование зеленого криокорма в рационах крупного рогатого скота и лошадей в условиях Центральной Якутии: рекомендации. Якутск, 2013. 32 с.

1,74, по переваримому протеину в 4,2 раза. За счет действия холода в криокорме увеличивается содержание сахара до 20%, содержится до 155 мг/кг каротина, белка 121 кг/т.

Замороженные естественным холодом осенне-вегетирующие травянистые растения Севера служат высокопитательным осенне-зимним нажировочным кормом (зеленый криокорм) для сельскохозяйственных животных в крайне суровых условиях местообитания.

Цель исследований – испытать эффективность скормливания криокорма сухостойным коровам и лошадям при тебеневке в условиях Якутии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Научно-хозяйственный опыт по изучению влияния скормливания криокорма был проведен в молочном репродукторе «Эрэл» опытно-производственного хозяйства «Красная Звезда» Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха на сухостойных коровах симментальской породы с продолжительностью опыта 77 дней. Для проведения опыта были отобраны 30 коров и распределены на три группы: контрольная и две опытные (по 10 голов в каждой). Для определения степени влияния скормливания криокорма на переваримость питательных веществ рациона у сухостойных коров был проведен физиологический опыт по методике М.Ф. Томмэ³.

О воспроизводительных способностях подопытных коров судили по живой массе при плодотворном осеменении, продолжительности сухостойного периода, сервис-периода. Анализ химического состава криокорма, проб кормов, кала определяли в лаборатории биохимии и массового анализа Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства (ЯНИИСХ) на анализаторе NIRSCANER model 4250 производства США.

Изучение влияния использования под тебеневку криокорма из овса проводили во второй половине зимовки (март) на воспро-

изводящем составе лошадей из расчета 15 га на 100 голов жеребых кобыл. Для проведения физиологического опыта в специальном загоне для сбора кала и учета скормленного корма по принципу пар-аналогов сформировали две группы животных. Контрольная группа тебеневала на отаве естественных травостоев, опытная – на зеленом криокорме. Отбор образцов корма и кала и их хранение проводили по общепринятым методикам. Переваримость питательных веществ кормов определена по индикаторному методу азотистого индекса кала (1984 г.). Коэффициент использования тебеневочного корма по методике ВНИИ кормов (1971 г.). Энергетическая ценность кормов по уравнению регрессии ВНИИ коневодства и по прямому калориметрированию⁴ [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения степени влияния скормливания криокорма на переваримость питательных веществ рациона у коров в сухостойный период проводили физиологический опыт, в течение опыта подопытные животные получали сбалансированный по основным питательным веществам рацион. Разница в кормлении заключалась в том, что коровы 1-й опытной группы получали криокорм 4 кг, коровы 2-й опытной группы – 1,5 кг (см. табл. 1).

Рацион подопытных животных был оптимальным по содержанию энергии, ее концентрации в сухом веществе (см. табл. 1). Так, концентрация обменной энергии в 1 кг сухого вещества рациона составила 8,35–8,42 МДж, переваримого протеина на 1 ЭКЕ приходилось 95,0–105,8 г. Концентрация ЭКЕ в 1 кг сухого вещества рациона составила 0,78–0,83.

Анализ данных показывает, что потребление клетчатки было низким у коров 1-й опытной группы, самое высокое потребление отмечено у коров 2-й опытной группы, где в составе рациона вводили 1,5 кг криокорма, что связано с высокой степенью ее усвоения

³Томмэ М.Ф. Методика определения переваримости кормов и рационов. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт животноводства, 1969. 37 с.

⁴Калашиников А.П., Фисин В.И., Щеглов В.В., Клейменов Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие. М., 2003. 458 с.

Табл. 1. Потребление кормов коровами в сухостойный период живой массой 455 кг
(в среднем на 1 гол.)

Table 1. Feed consumption of cows with live weight of 455 kg in dry period (on average per capita)

Показатель	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Сено разнотравное, кг	6,0	6,0	6,0
Сенаж овсяной, кг	8,5	6,5	7,5
Криокорм, кг	–	4,0	1,5
Комбикорм, кг	1,5	1,5	1,5
Соль поваренная, г	50,0	50,0	50,0
В рационе содержится:			
энергетической кормовой единицы (ЭКЕ)	9,4	9,6	9,9
обменной энергии, МДж	99,4	96,4	99,4
сухого вещества, кг	11,9	11,5	11,8
переваримого протеина, г	996,1	912,6	971,1
сырой клетчатки, г	3512,0	3473,5	4480,0
сырого жира, г	343,5	338,5	342,5
сахара, г	410,5	483,5	443,0
кальция, г	98,05	79,85	87,25
фосфора, г	37,1	36,0	37,5
каротина, мг	460,0	480,0	457,5
Структура рациона, % по питательности:			
сено разнотравное	42	42	42
сенаж овсяной	38	29	33,8
криокорм	–	12	4,2
комбикорм	20	17	20
Итого	100	100	100
Переваримого протеина на 1 ЭКЕ, г	105,9	95,1	98,0



Рис. 1. Зеленый криокорм
Fig. 1. Green cryo-feed

и скоростью прохождения по желудочно-кишечному тракту.

При расчете коэффициента переваримости было установлено, что практически все питательные вещества коровы опытных групп переваривали лучше, чем их аналоги из контрольной группы. При этом высокий уровень переваримости коровами контрольной группы по сравнению с опытными установлен в отношении сырой клетчатки на 0,73 и 4,57% (см. табл. 2).

У коров 1-й опытной группы, в структуре рациона которого криокорм составлял 12% по питательности, коэффициенты переваримости протеина были выше на 5,8 и 2,3%, чем в контрольной и во 2-й опытной группах соответственно. Введение в рацион криокорма повысило уровень обменной энергии и в целом оказало положительное влияние на эффективность энергетического обмена.

Молочная продуктивность коров обусловлена комплексом факторов генетического и паратипического характера, одним из которых является длительность сервис-периода,

поскольку продуктивная и воспроизводительная способность коров имеет тесную взаимосвязь.

Климатические условия Якутии, при которых продолжительное время из-за низких температур животные не имеют прогулок, затрудняют выявление их охоты. Поэтому сервис-период оказался весьма продолжительным. В наших исследованиях подопытные животные всех групп к моменту отела имели нормальную упитанность, хороший аппетит и здоровье. Явлений ненормального состояния животных (угнетения, вялости в движениях, отказа от корма, нарушения и расстройства пищеварения), связанного с использованием в рационах криокорма, не отмечено. Было зафиксировано два послеродовых осложнения – задержание последа. Результаты сравнительной оценки воспроизводительной способности исследуемой породы свидетельствуют о том, что коровы 1-й опытной группы, получавшие в рацион криокорм (12% по питательности), по большинству показателей превосходили своих сверстниц (см. табл. 3).

Табл. 2. Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов, %

Table 2. Coefficients of nutrient digestibility of rations, %

Показатель	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Сухое вещество	70,35 ± 2,81	78,62 ± 3,58	72,07 ± 2,55
Органическое вещество	72,66 ± 3,12	80,60 ± 3,38	74,58 ± 2,34
Сырой протеин	59,8 ± 1,9	65,6 ± 4,54	63,3 ± 1,18
Сырой жир	63,02 ± 3,37	70,95 ± 4,13	68,59 ± 1,19
Сырая клетчатка	68,23 ± 4,54	63,66 ± 0,53	67,50 ± 3,71
Сырая зола	48,44 ± 2,84	51,32 ± 6,39	49,03 ± 6,01
Безазотистые экстрактивные вещества	76,48 ± 5,05	87,76 ± 4,04	81,72 ± 1,63

Табл. 3. Воспроизводительная способность коров

Table 3. Reproductive ability of cows

Показатель	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Число осемененных коров, гол.	10	10	9
Продолжительность, дни:			
сухостойного периода	58,3 ± 0,73	55,6 ± 0,70	56,2 ± 0,61
сервис-периода	124,0 ± 0,67	122,2 ± 0,73	124,0 ± 0,63
плодоношения	285,2 ± 0,65	282 ± 0,39	282,4
Живая масса коров при плодотворном осеменении, кг	453,0 ± 1,96	456,6 ± 3,80	455,4 ± 2,05
Послеродовые осложнения	1	–	1
Продолжительность инволюции матки, дни	13	12	13
Оплодотворяемость, %	100	100	90

Лошади якутской породы в условиях круглогодичного пастбищного содержания в течение 7 мес потребляют тебеневочный корм с высоким содержанием сырой клетчатки на уровне 30,0–38,5% от сухого вещества [7].

Проведение опытов по переваримости дало возможность рассчитать коэффициенты переваримости питательных веществ воспроизводящего состава лошадей при тебеневке на естественном травостое и криокорме (см. табл. 4).

Полученные данные свидетельствуют о том, что более эффективным использованием питательных веществ кормов отличались животные опытной группы, которые тебеневали на посевах замороженного овса (криокорма). Их преимущество по переваримости органического вещества составило 11,9% ($p \geq 0,99$), сухому веществу – 10,48 ($p \geq 0,99$), сырому протеину – 18,3 ($p \geq 0,99$), сырой клетчатке – 21,9 ($p \geq 0,95$), сырому жиру – 13,3 ($p \geq 0,95$), по безазотистым экстрактивным веществам (БЭВ) – 11,7% ($p \geq 0,95$). Сравнительно высокая переваримость органической части посевов овса по отношению к органической части отавы естественного травостоя связана с процессами адаптации растений к низким температурам среды.

Лучшая переваримость питательных веществ зимне-зеленой массы овса по сравнению отавы травостоя обусловлена высоким содержанием каротина и провитамина Е в растениях, законсервированных на корню естественным холодом. Урожайность зеленой массы овса (криокорма) в начале выпадения

снега в октябре достигла 66 ц/га. Поступление в организм каротина при тебеневке на криокорме составило 286,9 мг, что на 85,8% больше ($p \geq 0,95$), чем на отаве естественного травостоя (40,6 мг); витамина Е – 931,48 мг, что на 80,08% ($p \geq 0,99$) выше отавы естественного травостоя (185,64%) соответственно. Кормовая емкость 1 га под криокормом при тебеневке взрослых особей составляла 129–142 сут/гол. При этом обеспеченность обменной энергией в расчете на 100 кг живой массы достигала 32,6 МДж, что больше нормы на 14,5%, при тебеневке на отаве естественного травостоя – 23,1 МДж соответственно. Это обусловлено тем, что использование энергии зависит от поступления в организм питательных веществ кормов и эффективности их усвоения животными.

Следовательно, при тебеневке на криокорме значительно повышается уровень кормления лошадей в зимнее время и наиболее полно удовлетворяется потребность в основных питательных веществах корма. Высокая питательная ценность и урожайность, по сравнению с естественными угодьями, особенно важна для профилактической подкормки жеребых кобыл.

По наблюдениям за выжеребкой кобыл установлено, что в контрольной группе было два мертворожденных плода, один пал на следующий день после рождения, было два аборта и два падежа по неизвестной причине. Получено приплода 17 гол. В опытной группе было два аборта и два падежа жеребят по неустановленной причине, получено 20 гол. Деловой выход жеребят повысился на 14% (86%) (см. табл. 5).

Табл. 4. Коэффициенты переваримости питательных веществ кормов, %

Table 4. Coefficients of digestibility of feed nutrients, %

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Органическое вещество	54,2 ± 0,64	66,1 ± 2,01**
Сухое вещество	56,02 ± 0,98	66,5 ± 1,23**
Сырой протеин	52,3 ± 2,02	70,6 ± 0,31**
Сырая клетчатка	43,5 ± 1,05	65,4 ± 4,03*
Сырой жир	38,2 ± 2,98	51,5 ± 1,67*
БЭВ	55,0 ± 2,47	66,7 ± 4,65*

* $p \geq 0,95$.

** $p \geq 0,99$.

Табл. 5. Показатели воспроизводства опытных животных

Table 5. Indicators of reproductive ability of experimental animals

Показатель	Группа	
	контроль-ная	опытная
Поголовье кобыл, гол.	24	24
Мертво-, слаборожденные жеребята, гол.	3	–
Аборты, гол.	2	2
Получено приплода, гол.	17	20
Пало жеребят, гол.	2	2
Деловой выход жеребят, %	72	86,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований установлено, что использование в рационах сухостойных коров зеленого криокорма (12% по питательности) не оказало отрицательного действия на организм подопытных животных. Скармливание криокорма активизировало процессы обмена веществ в организме коров и способствовало поддержанию воспроизводительных качеств. Оплодотворение коров достигло 90–100%, что подтверждает целесообразность использования криокорма для сухостойных коров в условиях Якутии.

В табунном коневодстве для повышения производственных показателей отрасли необходимо широкомасштабное внедрение посевов овса по коневодческим улусам. При этом на замороженных посевах овса тебеневку кобыл нужно организовывать во второй половине зимовки. В это же время начиная с марта у жеребых кобыл увеличиваются потребности в энергии и питательных веществах на 20–25%. Высокая питательная ценность зеленого криокорма, в частности для скотоводства и табунного коневодства, позволяет рекомендовать его для широкого внедрения в сельскохозяйственную практику регионов, где имеются фактически неограниченные холодовые ресурсы. Корм, выращенный в условиях Якутии, может использоваться как дополнение к рациону многих сельскохозяйственных животных в Сибири, на Дальнем Востоке и европейском Севере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряков Н. Кормление стельных сухостойных и дойных коров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2007. № 4. С. 31–32.
2. Кальницкий Б.Д. Современное состояние и перспективы исследований физиолого-биохимического обоснования энергетического, протеинового и витаминно-минерального питания сельскохозяйственных животных // Сельскохозяйственная биология животных. 1993. № 4. С. 3–11.
3. Румянцев В.А. Особенности возделывания однолетних кормовых культур на зеленый криокорм в Якутии // Главный зоотехник. 2009. № 6. С. 57–60.
4. Петров К.А., Перк А.А., Чепалов В.А., Софронова В.Е., Ильин А.Н., Иванов Р.В. Эколого-физиологические и биохимические основы формирования зеленого криокорма в Якутии // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 6. С. 1129–1138.
5. Алексеев В.Г. Устойчивость растений в условиях Севера: эколого-биохимические аспекты: монография. Новосибирск: ВО Наука, 1994. 152 с.
6. Кошаров А.Н., Угадчиков С.Т., Мемедейкин В.Г. Теоретическое обоснование и рекомендации по применению норм кормления лошадей // Совершенствование селекции пород лошадей. М., 1983. С. 70–103.
7. Алексеев Н.Д., Неустроев М.П., Иванов Р.В. Биологические основы повышения продуктивности лошадей. Якутск, 2006. 280 с.

REFERENCES

1. Buryakov N. Kormlenie stel'nykh sukhoshtoinykh i doinykh korov [Feeding the dry pregnant and lactating cows]. *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo* [Feeding of agricultural animals and fodder production], 2007, no. 4, pp. 31–32.
2. Kalnitsky B.D. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy issledovaniy fiziologo-biokhimicheskogo obosnovaniya energeticheskogo, proteinovogo i vitaminno-mineral'nogo pitaniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Current state and prospects of research into physiological and biochemical substantiation of energy, protein and vitamin and mineral nutrition of farm animals]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya zhivotnykh* [Agricultural animal biology], 1993, no. 4, pp. 3–11.
3. Rumyantsev V.A. Osobennosti vzdelyvaniya odnoletnikh kormovykh kul'tur na zelenyi kriokorm v Yakutii [Features of the cultivation of annual forage crops for green cryocorm in Yakutia]. *Glavnyi zootekhnik* [Main Zootechnician], 2009, no. 6, pp. 57–60.
4. Petrov K.A., Perk A.A., Chepalov V.A., Sofronova V.E., Il'in A.N., Ivanov R.V. Ekologo-fiziologicheskie i biokhimicheskie osnovy formirovaniya zelenogo kriokorma v Yakutii

- [Ecological, physiological and biochemical bases of the formation of green cryocorm in Yakutia]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2017, vol. 52, no. 6, pp. 1129–1138.
5. Alekseev V.G. *Ustoichivost' rastenii v usloviyakh Severa: ekologo-biokhimicheskie aspekty* [Stability of plants in the conditions of the North: ecological and biochemical aspects]. Novosibirsk, VO Nauka [IN Science], 1994, 152 p.
6. Kosharov A.N., Ugodchikov S.T., Mamidakis V.G. *Teoreticheskoe obosnovanie i rekomendatsii po primeneniyu norm kormleniya loshadei* [Theoretical basis and recommendations for the application of the rules of feeding horses]. *Sovershenstvovanie seleksii porod loshadei* [Breeding Improvement of breeds of horses]. Moscow, 1983, pp. 70–103.
7. Alekseev N.D., Neustroev M.P., Ivanov R.V. *Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti loshadei* [Biological bases of increasing the productivity of horses]. Yakutsk, 2006, 280 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Р.В., доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

✉ **Николаева Н.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова; **адрес для переписки:** 677001, Республика Саха, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1, Россия; e-mail: agronii@mail.ru

Хомподоева У.В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

Борисова П.П., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

AUTHOR INFORMATION

Ivanov R.V., Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, Laboratory Head of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

✉ **Nikolaeva N.A.**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov; **address:** 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia; e-mail: agronii@mail.ru

Hompodoeva U.V., Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Borisova P.P., Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

*Дата поступления статьи 29.08.2018
Received by the editors 29.08.2018*

КРАЕВАЯ ЭПИЗООТОЛОГИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ И ИНВАЗИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЛОШАДЕЙ

^{1,2} Неустроев М.П., ¹ Тарабукина Н.П., ¹ Решетников А.Д., ¹ Кокколова Л.М.

¹ Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

² Якутская государственная сельскохозяйственная академия
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

Для цитирования: Неустроев М.П., Тарабукина Н.П., Решетников А.Д., Кокколова Л.М. Краевая эпизоотология инфекционных и инвазионных болезней лошадей // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 38–44. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-5

For citation: Neustroev M.P., Tarabukina N.P., Reshetnikov A.D., Kokolova L.M. Kraevaya epizootologiya infektsionnykh i invazivnykh boleznei loshadei [Regional epizootology of infectious and invasive diseases of horses]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 38–44. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-5

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Проведен анализ распространения инфекционных и инвазионных болезней лошадей в Республике Саха (Якутия). Использованы данные из отчетов Департамента ветеринарии и Республиканской ветеринарно-испытательной лаборатории за 1986–2017 гг. Основными болезнями лошадей табунного содержания в условиях Якутии, наносящими значительный экономический ущерб, являются ринопневмония, сальмонеллез, лептоспироз, мыт, стронгилятозы, параскаридоз. Эти болезни снижают деловой выход жеребят на 20–40% из-за инфекционных аборт. Экономический ущерб на 100 гол. кобыл может составить 800–1600 тыс. р. в год. Сальмонеллезный аборт зарегистрирован в 143 пунктах 22 районов, лептоспироз в 199 пунктах 25 районов. Заболеваемость мытом составляет 62%, летальность от 4 до 22%. Циркуляция вируса ринопневмонии отмечена в 99 пунктах 16 улусов. Распространенность стронгилятозов и параскаридоза составляет 100 и 64,7% соответственно. Наибольшее беспокойство лошадям причиняют шесть видов слепней рода *Hybomitra*. Видовой состав кровососущих комаров Центральной и Западной Якутии представлен 14–15 видами. Эпизоотическая ситуация в Республике Саха (Якутия) по сальмонеллезному абарту, ринопневмонии, лептоспирозу, мыту, стронгилятозам, параскаридозу и энтомозам остается напряженной. Следует разработать и реализовать планы профилактики инфекцион-

REGIONAL EPIZOOTOLOGY OF INFECTIOUS AND INVASIVE DISEASES OF HORSES

^{1,2} Neustroev M.P., ¹ Tarabukina N.P., ¹ Reshetnikov A.D., ¹ Kokolova L.M.

¹ Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

² Yakut State Agricultural Academy

Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

The analysis of infectious and invasive diseases of horses spread in the Republic of Sakha (Yakutia) was carried out. The data from the reports of the Department of Veterinary Medicine and the Republican Veterinary and Testing Laboratory for the period 1986–2017 was used. The main diseases of horses bred in herds in the conditions of Yakutia, which cause significant economic damage, are rhinopneumonia, salmonellosis, leptospirosis, horse strangles, strongylatosis and parascaridosis. These diseases reduce actual foal crops by 20–40% due to infectious abortions. Economic damage per 100 mares may amount to 800–1600 thousand rubles per year. Salmonellosis abortion was registered in 143 settlements of 22 districts, leptospirosis – in 199 settlements in 25 districts. Incidence of horse strangles accounts for 62%, mortality rate being from 4 to 22%. Circulation of the rhinopneumonia virus was noted in 99 settlements of 16 districts. The prevalence of strongylatosis and parascaridosis is 100 and 64.7%, respectively. The greatest concern for horses is caused by 6 species of gadflies of the genus *Hybomitra*. Species composition of blood-sucking mosquitoes of Central and Western Yakutia is represented by 14–15 species. The epizootic situation in the Republic of Sakha (Yakutia) with salmonellosis abortion, rhinopneumonia, leptospirosis, horse strangles, strongylatosis, parascaridosis and entomosis remains tense. It is necessary to develop and implement plans for the prevention of infectious and parasitic diseases using diagnostic

ных и инвазионных болезней с использованием диагностических исследований, эффективных вакцин, антгельминтиков и пробиотиков.

Ключевые слова: эпизоотология, ринопневмония, сальмонеллез, мыт, лептоспироз, параскаридоз, стронгилятозы, гастрофилезы, кровососущие насекомые

ВВЕДЕНИЕ

Развитие табунного коневодства сдерживается распространением инфекционных и инвазионных болезней. Мыт, сальмонеллезный аборт и ринопневмония наносят большой экономический ущерб регионам России [1–3]. В зависимости от эпизоотической ситуации эти болезни снижают деловой выход жеребят на 20–40% из-за инфекционных абортов. Экономический ущерб на 100 гол. кобыл может составить 800–1600 тыс. р. в год. В Республике Саха (Якутия) также распространены инфекционные болезни лошадей. Однако эпизоотология этих болезней с учетом краевых особенностей изучена слабо. Недостаточно эффективно проводятся специальные профилактические мероприятия.

Цель исследования – изучить особенности эпизоотологии основных инфекционных и инвазионных болезней лошадей в условиях Якутии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведен анализ данных из отчетов Департамента ветеринарии и Республиканской ветеринарно-испытательной лаборатории (1986–2017 гг.) Организованы выезды в неблагополучные по инфекционным и инвазионным болезням хозяйства. Осуществлены бактериологические и вирусологические исследования патологического материала. Для выделения и идентификации возбудителя использованы общепринятые методы согласно инструкциям и правилам [4]. Выживаемость возбудителей изучена по используемым в ветеринарной санита-

studies, effective vaccines, anthelmintics and probiotics.

Keywords: epizootology, rhinopneumonia, salmonellosis, horse strangles, leptospirosis, parascariidosis, strongylatosis, gastrophilosis, blood-sucking insects.

рии методикам¹. Исследования проведены с помощью общепринятых в гельминтологии макрогельминтологических, копроовоскопических и лавроскопических методов. Изучали экстенсивность и интенсивность инвазии. Фаунистические сборы и учеты численности нападающих двукрылых кровососущих насекомых и оводов проводили путем отлова с приманочной лошади с помощью энтомологического сачка, а также использовали чучелообразную и юловидную ловушки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сальмонеллезный аборт. В Якутии данное заболевание регистрируют с 1937 г. В 1986–2017 гг. оно выявлено в 143 пунктах 22 улусов. Наиболее высокую заболеваемость животных регистрируют в Таттинском, Хангаласском, Нюрбинском, Амгинском, Мегино-Кангаласском, Среднеколымском и Сунтарском районах, где сосредоточено основное поголовье лошадей Республики Саха (Якутия). Ежегодно выявляют от 1 до 17 неблагополучных пунктов. В последние 3 года отмечено заболевание в 25 пунктах (2014 г. – 10, 2015 г. – 8, 2016 г. – 7).

В 2012 г. проведена вакцинация против сальмонеллезного аборта лишь 2,97% всего поголовья кобыл, 2013 г. – 1,0, 2014 г. – 3,4, 2015 г. – 3,8, 2016 г. – 2,2%, хотя вакцина против него разработана и применяется с 2001 г. При зафиксированных 823 абортах кобыл в 2012 г. исследован всего 441 плод, что составляет 53,5%, 2013 г. – 83,8%, 2014 г. – 82,2, 2015 г. – 22,6, 2016 г. – 16,1%.

¹Новые методы исследований по проблемам ветеринарной медицины. Ч. 1. Методы исследований в ветеринарной санитарии и экологии: сб. науч. тр. М., 2004. 397 с.

Ринопневмония. Впервые зарегистрирована в 1993 г.² В 2002–2017 гг. циркуляция вируса ринопневмонии отмечена в 99 пунктах 16 улусов (см. таблицу и рисунок). Наибольшее число неблагополучных пунктов отмечено в Амгинском (8), Кангаласском (14), Таттинском (10), Нюрбинском (12) и Сунтарском улусах (19). Из 41 неблагополучного пункта 19 отмечено в Сунтарском улусе. Число неблагополучных пунктов с каждым годом уменьшается. Так, в 2014–2016 гг. в республике зафиксировано лишь

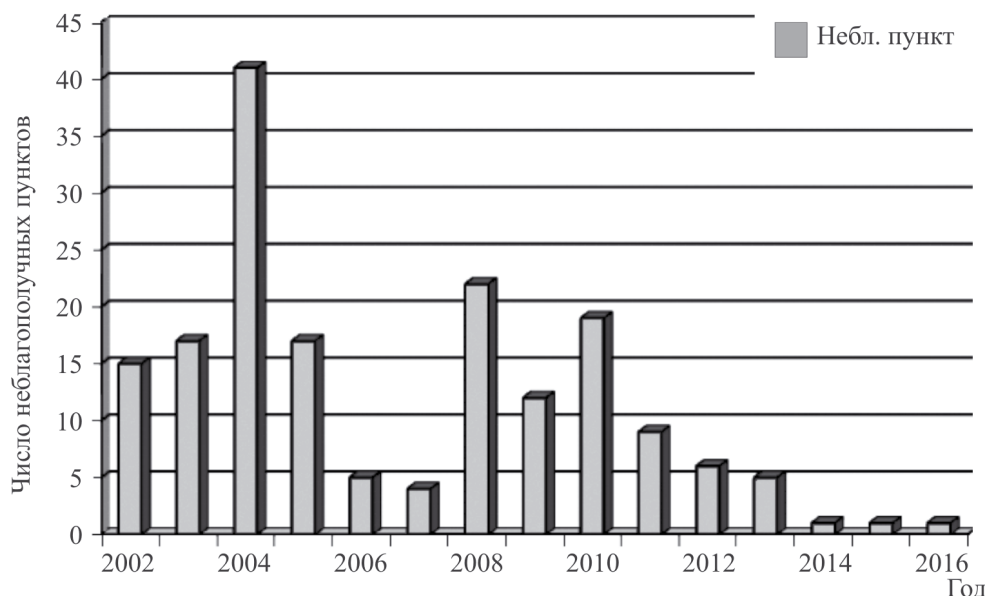
по одному неблагополучному пункту. Возможно, это связано с улучшением проведения лечебно-профилактических мероприятий или низким уровнем вирусологических исследований.

В 2004, 2015 гг. ежегодно исследовано 827–1044 проб, в 2015, 2016 гг. 189–283. Если в 2012, 2013 гг. вакцинировано 8419 и 11 040 гол. соответственно, то в 2015, 2016 гг. уровень иммунизации снизился до 2834–5111 гол.

Эпизоотическая ситуация по ринопневмонии,
сальмонеллезу, лептоспирозу лошадей (1985–2017 гг.)
Epizootic situation for rhinopneumonia, salmonellosis, leptospirosis of horses (1985–2017)

Район	Ринопневмония		Сальмонеллез		Лептоспироз	
	Годы	Выявлено в пунктах	Годы	Выявлено в пунктах	Годы	Выявлено в пунктах
Абыйский	–	–	1993	2	2010–2016	4
Алданский	–	–	2016	1	2006–2011	2
Амгинский	2004–2011	8	1981–2007	9	2004–2013	11
Булунский	–	–	–	–	2016	1
Верхоянский	2009–2010	2	1998–2008	7	2010–2016	9
Вилуйский	–	–	1998–2016	13	2006–2011	9
Верхневилуйский	–	–	1994–2011	6	2006–2013	9
Горный	–	–	1998–2005	7	2010–2013	9
Кобяйский	2004–2008	3	1998–2008	4	2006–2013	2
Ленский	–	–	–	–	2013	1
Мегино-Кангаласский	2002–2005	4	1995–2009	19	2006–2012	16
Верхнеколымский	–	–	1992–2004	2	–	–
Момский	2003	1	–	–	2010–2013	2
Намский	2006	2	1986–2010	9	2006–2016	19
Нюрбинский	2002–2010	12	2009–2017	5	2007–2012	8
Оймяконский	2007–2011	5	2007	1	2004–2012	7
Олекминский	–	–	2011	1	2010	1
Среднеколымский	2004–2010	2	1996–2016	5	2010–2012	4
Сунтарский	2004–2012	19	1998–2012	5	2008–2013	17
Таттинский	2002–2011	10	1998–2016	15	2006–2013	9
Томпонский	2008–2010	2	2011	1	2006–2013	9
Усть-Алданский	2004–2011	5	1992–2016	11	2006–2012	7
Усть-Майский	–	–	1986–2009	2	2009–2016	2
Чурапчинский	2008–2016	5	–	–	2006–2016	13
Хангаласский	2002–2016	14	1993–2016	17	2004–2012	14
Якутский	2002–2012	5	1986–2016	1	2003–2012	14
Итого		99		143		199

²Неустроев М.П. Вирусные болезни лошадей в Якутии // АПК Сибири, Монголии и Республики Казахстан в XXI веке: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Улан-Батор, 9–10 июля 2001 г.). Новосибирск, 2001. С. 331–332.



Эпизоотическая ситуация по ринопневмонии лошадей в Республике Саха (Якутия) (2002–2016 гг.)
Epizootic situation for rhinopneumonia of horses in the Republic of Sakha (Yakutia) (2002–2016)

Лептоспироз. Регистрируется с 2003 г.³ За исследуемый период лептоспироз отмечен в 199 пунктах 25 районов (см. таблицу). Наибольшее число неблагополучных пунктов отмечено в Амгинском (11), Верхоянском (9), Вилуйском (10), Верхневилуйском (9), Горном (9), Мегино-Кангаласском (16), Намском (19), Нюрбинском (8), Сунтарском (18), Таттинском (10), Томпонском (9), Чурапчинском (12), Хангаласском (12) улусах и г. Якутске (12). В результате проведения активной иммунизации количество реагирующих животных в последние годы снизилось. Однако уровень иммунизации исследуемого поголовья остается низким (2014 г. – 1910 гол., 2015 г. – 2129, 2016 г. – 2465 гол.). Следует отметить, что в 2015, 2016 гг. увеличилось количество реагирующих лошадей (на 4,6–4,7%) и вновь выявленных неблагополучных пунктов (12).

Мыт. По отчетным данным, заболеваемость мытом в среднем составляет 3,27%, летальность – 3,88%, однако по нашим исследованиям, заболеваемость – 62%, летальность – 4–22%. В 1986–1991 гг. среднее

количество неблагополучных пунктов ежегодно составляло 26,1. В 2000–2011 гг. каждый год регистрировали от 9 до 31 пункта. В 2012–2016 гг. число пунктов, где отмечен мыт, снизилось от 1 до 10. Однако по нашим данным, заболеваемость остается высокой. Особенно неблагополучным был 2016 г. Болезнь регистрировали с летнего периода в Хангаласском, Мегино-Кангаласском, Усть-Алданском и Намском улусах, но характерна ярко выраженная осенне-зимняя сезонность.

Природноочаговость, длительная выживаемость возбудителей во внешней среде, отсутствие плановых диагностических и профилактических мероприятий обуславливают стационарность и периодичность возникновения сальмонеллезного аборта, ринопневмонии, лептоспироза в неблагополучных пунктах. Эпизоотический процесс может осложняться смешанной инфекцией. Особой тяжестью отличаются вирусно-бактериальные аборты, вызываемые вирусом ринопневмонии и возбудителем сальмонеллезного аборта кобыл. При смешанной инфекции abortируют 90–100% кобыл в косяках.

³Макарова Л.И., Никитина А.А. Проблемы лептоспироза сельскохозяйственных животных в Республике Саха (Якутия) // Современные проблемы и инновационные тенденции развития аграрной науки: материалы межд. науч. практ. конф. (Якутск, 10 ноября 2010 г.). Якутск, 2010. С. 54–56.

В результате распространения инфекционных болезней лошадей и невыполнения других зоотехнических и ветеринарных требований деловой выход жеребят в республике составляет 50–55%. Следовательно, около 40–45% кобыл не дают приплод. Ущерб от этого составляет примерно 1200 млн р. в год. При проведении профилактических мероприятий с использованием вакцин деловой выход минимально может повыситься на 10%, т.е. возможно получить дополнительно до 8 тыс. жеребят на сумму 400 млн р.

Сотрудниками Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства разработана и внедряется вакцина против сальмонеллезного аборта. Иммунизация данной вакциной повышает деловой выход жеребят в неблагополучных пунктах на 15,7–23,0%. Экономический эффект на 1 р. затрат составляет 10,7 р. Получено два патента РФ на изобретение.

Впервые в России разработан и внедрен пробиотик Сахабактисубтил для профилактики дисбактериозов, повышения иммунобиологической реактивности сельскохозяйственных животных, утвержденный Россельхознадзором МСХ РФ (2006 и 2012 гг.). Сахабактисубтил предохраняет 90–95% молодняка от болезней и повышает среднесуточные привесы, способствует повышению делового выхода. В настоящее время разрабатываются профилактические средства против ринопневмонии и мыта лошадей. Завершены производственные испытания инактивированной вакцины против ринопневмонии. Проходят производственные испытания ассоциированной вакцины против ринопневмонии, сальмонеллезного аборта и мыта лошадей.

Нами установлено, что мыт, ринопневмония и сальмонеллез протекают обычно одновременно, особенно у молодняка и кобыл. Доказано, что ринопневмония обладает иммунодепрессивной способностью и осложняет течение мыта и сальмонеллеза. Следовательно, при организации профилактических мероприятий необходимо учитывать результаты диагностических исследований. До сих пор эпидемиологическое

влияние сальмонеллезного аборта на заболеваемость людей не изучено, хотя сальмонеллезы остаются одной из актуальных проблем в мире. В настоящее время профилактическая вакцинация против сальмонеллеза проводится усилиями только самих владельцев животных. Ежегодная иммунизация составляет 2000–3000 гол. Такой уровень вакцинации не может обеспечить защиту лошадей от повторного появления и распространения сальмонеллеза. Следует отметить, что эпизоотическая и эпидемиологическая значимость с учетом особенностей природно-климатических условий и серологических групп возбудителя лептоспироза в условиях Якутии не изучена.

Гельминтозы. Наиболее распространены являются стронгилятозы и параскариозы (заболеваемость соответственно 100 и 64,7%). Наиболее патогенными представителями семейства Strongilidae являются *Delafondia vulgaris*, *Alfortia edentatus* и *Strongylus equines*, а также многочисленные виды семейства Trichonematidae. Сезонно-возрастная динамика заражения лошадей стронгилятами характеризуется следующими особенностями. Жеребята текущего года рождения первично заражаются стронгилятами в первые дни выпаса и выделяют яйца в конце июля, пик инвазии отмечают в сентябре (экстенсивность инвазии (ЭИ) – 100%); яйца деляфондий у жеребят в фекалиях регистрируют в конце октября, пик инвазии наблюдают в декабре, январе и феврале (ЭИ – 65, 80, 60% соответственно); яйца альфортий впервые выявляются в фекалиях жеребят в середине декабря, пик инвазии происходит в феврале (ЭИ – 80%); яйца стронгилюсов впервые обнаруживаются в конце февраля, пик инвазии – в апреле (ЭИ – 40%). Параскариоз наблюдается как среди взрослого поголовья лошадей, так и у молодняка, который инвазируется чаще и интенсивнее. У жеребят до года ЭИ составляет 63,8% при интенсивности инвазии (ИИ) $13,2 \pm 1,1$ экз., у лошадей старшего возраста – 56,4% и $10,2 \pm 1,4$ экз. В некоторых коневодческих хозяйствах Центральной Якутии результаты гельминтологичес-

ких исследований показывают 100%-ю пораженность параскаридозом и стронгилятозами молодняка текущего года рождения⁴.

Гастрофилез лошадей. Зараженность лошадей гастрофилезом в последнее время значительно снизилась, что связано с широким применением пасты эквисект, однако проблема полностью не решена⁵.

Энтомозы. Фауну слепней в агроценозе Центральной Якутии представляют 21 вид и один подвид слепней, относящихся к двум родам: *Chrysops* (6 видов) и *Hybomitra* (15 видов и один подвид). Наибольшее беспокойство лошадям причиняют шесть видов слепней рода *Hybomitra*. Кровососущие комары являются самыми распространенными и назойливыми насекомыми в Республике Саха (Якутия). Видовой состав кровососущих комаров агроценозов Центральной и Западной Якутии представлен 14–15 видами.

В агроценозах Центральной Якутии нами выделены три типа биотопов комаров на лесных и суходольных пастбищах. Комаров около приманочного животного отмечают с I декады мая по I–II декады сентября. Период массового лёта наблюдают с III декады июня до середины II декады июля. Общая продолжительность лёта комаров за сезон составляет 118–126 дней [5, 6]. Препарат Ветерин в 0,05%-й (по ДВ) концентрации при малообъемном опрыскивании защищает лошадей от слепней в течение 24–25 ч. При высокой численности слепней обработки животных целесообразно проводить ежедневно, при умеренной – с интервалом 2 дня и более. В результате истребительного воздействия восьми юловидных ловушек на аласном пастбище уничтожено более 70 тыс. самок слепней, количество слепней

снизилась на 53,2%. Экономическая эффективность защиты лошадей от слепней ветеринаром на 1 р. затрат составляет 5,4 р.⁶

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпизоотическая ситуация по сальмонеллезному аборту, ринопневмонии, лептоспирозу, мыту, стронгилятозам, параскаридозу и энтомозам остается напряженной. Следует разработать и реализовать планы профилактики инфекционных и инвазионных болезней с использованием диагностических исследований, эффективных вакцин, антгельминтиков и пробиотиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулюкин М.И., Юров К.П. Профилактика массовых инфекционных болезней лошадей в табунном коневодстве // Ветеринария и кормление. 2004. № 4. С. 22–24.
2. Юров К.П. Некоторые итоги работы лаборатории вирусологии ВИЭВ // Ветеринария и кормление. 2014. № 5. С. 60–61.
3. Неустроев М.П., Юров К.П. Новые средства и методы профилактики инфекционных болезней лошадей табунного содержания // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2006. № 1. С. 54–56.
4. Методические указания по лабораторной диагностике ринопневмонии лошадей // Лабораторные исследования в ветеринарии: Вирусные, риккетсиозные и паразитарные болезни / под ред. Б.И. Антонова. М.: Агропромиздат, 1987. С. 20–43.
5. Бараишкова А.И. Фауна слепней (*Diptera*, *Tabanidae*) агроценозов Центральной Якутии // Аграрный вестник Урала. 2017. Т. 161. № 7. С. 12–15.
6. Бараишкова А.И. Сезонность лёта кровососущих комаров (*Diptera*, *Culicidae*) центральной зоны Якутии // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2010. Т. 7. № 3. С. 14–15.

⁴Гаврильева Л.Ю., Степанова С.М., Коколова Л.М. Стронгилятозы лошадей табунного содержания в Якутии // Состояние и перспективы развития ветеринарной науки России, посвященной 115-летию ВИЭВ им. Я.Р. Коваленко: материалы межд. науч. практ. конф. М., 2013. Т. 77. С. 271–273.

⁵Бараишкова А.И. Вклад ученых в изучение желудочных оводов (*Diptera*, *Gasterophilidae*) в Якутии // Инновационные подходы к проблемам и перспективам развития агропромышленного комплекса в Республике Саха (Якутия): материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рожд. М.Г. Сафронова и 60-летию ЯНИИСХ (Якутск, 9 декабря 2016 г.). Воронеж: Издат-Принт, 2017. С. 272–278.

⁶Павлова Р.П., Решетников А.Д., Бараишкова А.И. Защита табунных лошадей от слепней в Центральной Якутии: метод. рекомендации. Якутск, 2003. 16 с.

REFERENCES

1. Gulyukin M.I., Yurov K.P. Profilaktika massovykh infektsionnykh boleznei loshadei v tabunnom konevodstve [Prevention of mass infectious diseases of horses in herd horse breeding] *Veterinariya i kormlenie* [Veterinary and feeding technologies], 2004, no. 4, pp. 22–24. [In Russian].
2. Yurov K.P. Nekotorye itogi raboty laboratorii virusologii VIEV [Some results of work of virology laboratory of VIEV] *Veterinariya i kormlenie* [Veterinary and feeding technologies], 2014, no. 5, pp. 60–61. [In Russian].
3. Neustroev M.P., Yurov K.P. Novye sredstva i metody profilaktiki infektsionnykh boleznei loshadei tabunnogo soderzhaniya [New means and methods of infectious diseases prevention of horses in herd breeding] *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2006, no. 1, pp. 54–56. [In Russian].
4. Metodicheskie ukazaniya po laboratornoi diagnostike rinopnevmonii loshadei. *Laboratornye issledovaniya v veterinarii: Virusnye, rickettsioznye i parazitarnye bolezni* [Methodological guidelines for laboratory diagnostics of rhinopneumonia of horses. Laboratory studies in veterinary medicine: viral, rickettsial and parasitic diseases]. pod red. B.I. Antonova. M.: Agropromizdat Publ., 1987, pp. 20–43. [In Russian].
5. Barashkova A.I. Fauna slepnei (Diptera, Tabanidae) agrotsenozov Tsentral'noi Yakutii [Fauna of gadflies (Diptera, Tabanidae) of agrocenoses of Central Yakutia]. *Agrarnyi vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, vol. 161, no. 7, pp. 12–15. [In Russian].
6. Barashkova A.I. Sezonnost' leta krovososushchikh komarov (Diptera, Culicidae) tsentral'noi zony Yakutii [Seasonal occurrence of blood-sucking mosquitoes (Diptera, Culicidae) in the central zone of Yakutia]. *Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii* [Topical issues of veterinary biology], 2010, vol. 7, no. 3, pp. 14–15. [In Russian].

Информация об авторах

✉^{1,2}**Неустроев М.П.**, доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник; ¹Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, ²Якутская государственная сельскохозяйственная академия; **адрес для переписки:** Россия, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1, Россия; e-mail: mneyc@mail.ru

Тарабукина Н.П., доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник; Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

Решетников А.Д., доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник; Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

Кокколова Л.М., доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник; Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

Author information

✉^{1,2}**Neustroev M.P.**, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head Researcher of ¹Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov, ²Yakut State Agricultural Academy, address: 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia; e-mail: mneyc@mail.ru

Tarabukina N.P., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head Researcher of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Reshetnikov A.D., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head Researcher of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Kokolova L.M., Doctor of Veterinary Sciences, Head Researcher of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Дата поступления статьи 11.05.2018
Received by the editors 11.05.2018

КАЧЕСТВО ГОВЯДИНЫ ЧИСТОПОРОДНОГО И ПОМЕСНОГО МЯСНОГО СКОТА СИБИРИ

Инербаев Б.О., Борисов Н.В.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Для цитирования: Инербаев Б.О., Борисов Н.В. Качество говядины чистопородного и помесного мясного скота Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 45–51. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-6

For citation: Inerbaev, B.O., Borisov N.V. Kachestvo govyadiny chistoporodnogo i pomesnogo myasnogo skota Sibiri [Beef quality of pure-bred and cross-bred beef cattle of Siberia]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 45–51. DOI 10.26898/0370-8799-2018-5-6

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены требования к высококачественной говядине по общему виду, биохимическому составу, вкусовым и питательным свойствам. Приведены параметры, по которым определяются вкус, аромат, сочность, нежность мяса, а также крепость и наваристость бульона. Дана оценка качества говядины, полученной от животных разных мясных пород и их помесей. Качество мяса герефордской породы по основным показателям выше, чем у других наиболее распространенных пород. Экспериментально установлено влияние классности матерей на мясную продуктивность герефордских бычков, которые превосходили животных контрольной группы по предубойной массе на 25 кг (6,4%), убойной массе на 15,4 кг (7,5%), относительной массе мякоти на 7,8 кг, массе полутуши на 8,1 кг (7,6%). Высокими качественными показателями мяса в возрасте 20 мес характеризовались герефорд × симментальские бычки-кастраты 1-го поколения и телки 3-го поколения. В зависимости от условий содержания по качеству мяса лидировали казахские белоголовые × симментальские бычки-кастраты 1-го поколения (площадь содержания 3,5 м² на одну голову). По способу содержания превосходство имели казахские белоголовые × симментальские бычки и телки 1-го поколения при откорме на площадке. Опытным путем доказано положительное влияние спермопродукции австралийских быков-производителей на мраморность мяса сибирских аналогов (6 баллов). Описан новый ускоренный способ взятия образца мяса для ис-

BEAF QUALITY OF PURE-BRED AND CROSS-BRED BEEF CATTLE OF SIBERIA

Inerbaev B.O., Borisov N.V.

*Siberian Federal Scientific Centre
of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy
of Sciences*
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

The paper presents requirements to high-quality beef in terms of its general view, biochemical composition, taste and nutritional properties. The parameters which determine the taste, aroma, juiciness, tenderness of meat, as well as the strength and richness of the broth are given. Quality of beef obtained from animals of different beef breeds and their hybrids was assessed. Meat quality of the Hereford breed is higher than that of other most common breeds by the main parameters. The effect of the cow class on the meat productivity of the young Hereford bulls was experimentally established. They were superior to animals of the control group in pre-slaughter weight by 25 kg (6.4%), slaughter weight – by 15.4 kg (7.5%), relative mass of flesh – by 7.8 kg, half-carcass weight – by 8.1 kg (7.6%). At the age of 20 months Hereford x Simmental steers of the 1st generation and heifers of the 3rd generation were characterized by high quality meat. Depending on housing conditions (with an area of 3.5 m² per head), the Kazakh-white-headed x Simmental steers of the 1st generation were in the lead in terms of meat quality. When fattened at the site, the Kazakh-white-headed x young Simmental bulls and heifers of the 1st generation were superior. The positive effect of semen production of Australian stud bulls on meat marbling of Siberian analogues (6 points) was experimentally proven. A new accelerated method of taking a sample of meat for research is described. In this method probes are taken from four easily accessible large muscles: m. supraspinatus, longissimus dorsi, m. iliopsoas

следования, при котором пробы берут с четырех легкодоступных крупных мышц: предостной, длиннейшей спины, подвздошно-поясничной (филе) и полуперепончатой. Определяют их биохимический состав. Затем по специальной формуле с учетом поправочных коэффициентов определяют качественный состав мякоти туши.

Ключевые слова: говядина, качество мяса, помесное животное, генотип, мраморность мяса

ВВЕДЕНИЕ

Потребление говядины на душу населения в Сибирском федеральном округе составляет 16 кг, примерно 50% от рекомендованной медицинской нормы [1]. Мировое производство всего мяса, по данным ФАО, к 2019 г. вырастет на 23,3%, в том числе в США – на 11,2%, Китае – на 36,6, Бразилии – на 33,2, странах ЕС – только на 0,4%. В странах ЕС на долю специализированной отрасли мясного скотоводства приходится 40–50% от общего поголовья крупного рогатого скота, в США и Канаде – 70–75, Австралии – около 85%. В России этот показатель составляет только 2%, хотя условия для развития отрасли имеются: 9% мировых площадей сельскохозяйственных угодий, пастбищ и сенокосов (74,4 млн га), но используются они лишь на 15–25% [2, 3].

Говядина – это экологически чистый продукт питания, который по своим качествам отвечает мировым стандартам. Ранее наиболее ценным считалось мясо с соотношением белка и жира 1 : 1, что приравнивалось к высшей упитанности животных. В настоящее время больше ценится говядина с соотношением белка к жиру как 2 : 1, что больше приближается к средней упитанности при калорийности 1 кг примерно 2000 ккал. Признано, что 1 г белка содержит 5,71 ккал, 1 г жира – 9,5 ккал [4].

Цель исследования – оценить качество говядины, полученной от животных разных мясных пород и их помесей.

(fillet), m. semimembranosus. Their biochemical composition is determined, after which the quality composition of carcass flesh is defined by a special formula with allowance for correction factors.

Keywords: beef, meat quality, crossbred animal, genotype, meat marbling

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом многолетних исследований стали животные специализированных мясных пород, разводимых в хозяйствах Сибири, – герефордской, казахской белоголовой, симментальской, черно-пестрой, шароле-ской и их помесей разного возраста и пола (бычки, кастраты, телки, коровы). Животных в каждом отдельном опыте выращивали в зависимости от влияния различных изучаемых факторов. Максимальное число животных в сравниваемых группах составляло до 20 гол., условия содержания были одинаковыми.

Анализировали свежее, дефростированное мясо, индивидуальные различия дефростированной говядины. Применяли общеизвестные методы исследования, а также новаторские разработки, подтвержденные авторскими свидетельствами и патентами.

Традиционный способ отбора проб и оценки качества мяса очень трудоемкий. После обвалки полутуши и жиловки мякоть пропускают через волчок (специальная мясорубка), тщательно размешивают на фаршемешалке. На исследование отбирают 400–450 г фарша и определяют его биохимический состав.

Нами разработан принципиально новый ускоренный способ взятия образца. Сущность его заключается в том, что пробы берут с четырех легкодоступных крупных мышц: предостной, длиннейшей спины, подвздошно-поясничной (филе) и полуперепончатой. Определяется их биохимический состав. Затем по специальной формуле с учетом поправочных коэффициентов определяют качественный состав мякоти туши¹.

¹Пат. (RU) № 2271535 С1. Способ определения качества мяса / Н.В. Борисов, Н.Б. Захаров, Б.О. Инербаев и др.; заявл. 02.09.2004; опубл. 10.03.2006; Бюл. № 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с повышением требований к качеству мяса приводим общепринятые оценочные параметры высококачественного мяса из наших рекомендаций. Говядина должна иметь привлекательный товарный вид, специфический приятный аромат. Поверхность свежего разреза должна быть влажная, но не липкая, мясной сок прозрачный, консистенция эластичная, при надавливании ямка быстро восстанавливается. Жир на туше белый или слегка желтоватый. Жировой полив равномерный, без больших просветов, его толщина в области 12–13-го ребра не более 5–8 мм. Синовиальная жидкость в суставах должна быть прозрачной, сухожилия упругие, плотные, суставные поверхности гладкие, блестящие. Величина pH – близкая к нейтральной, равная 6,6–7,0 сразу после убоя и 5,5–5,7 впоследствии. У бычков pH составляет 6,2–6,8, кастратов – 5,5–5,8, телок – 5,6–5,8. Убойный выход у мясных пород скота 59–62%, комбинированных – 50–55%, выход задней части туши не менее 48%, костей в туше не более 18%, мякоти не менее 82%. Соотношение мякоти к костям (индекс мясности) у молочных пород 3,8, молочно-мясных – 4,1, мясных – 4,7–5,5 и более. Площадь мышечного глазка длиннейшей мышцы спины у молочного скота около 47 см², комбинированных – 49,

мясных – 64–70 см². Коэффициент обмускуленности бедра – 120% и более, полномясности туши – 118–120, показатель спелости (зрелости) мяса по А.В. Ланиной – 20–25, показатель качества белка – 5–7, критерий мраморности – 4–6, пищевая ценность мяса – 25–30, увариваемость – 25–40%.

Важнейшие достоинства мяса – вкус, нежность, сочность и аромат. В 2013 г. выведен и утвержден МСХ РФ новый тип крупного рогатого скота симментальской породы баганский мясной². Мясная продуктивность телок данного типа превосходила аналогов молочно-мясного направления (см. табл. 1).

Отмечено, что туши телок баганского мясного типа оказались в среднем на 9,1% тяжелее базовых молочно-мясных животных, задняя часть – на 12,1%.

Из наиболее распространенных в Сибири пород лучшие показатели по качеству мяса имели герефордские животные. Белково-качественный показатель (БКП) у них составляет 6,4.

Отдельный эксперимент провели по чистопородным животным. В контрольную группу входили бычки, полученные от коров всех допустимых классов по живой массе (элита-рекорд, элита, I и II классы), в опытную группу включены бычки, полученные от коров с живой массой класса элита-рекорд.

По данным контрольного убоя высокую предубойную массу в опыте имели бычки

Табл. 1. Качество говядины чистопородного скота

Table 1. Beef quality of pure-bred cattle

Порода, породность	Пол	Возраст, мес	Масса туши, кг	Убойный выход, %	Показатель			Автор, год
					качества белка	спелости	мясности	
Мясной тип симментальской породы баганский мясной	Телки	18	202,9	58,8	5,1	24,7	4,86	Инербаев Б.О., Рыков А.И., Борисов Н.В. (2012 г.)
Симментальская порода	Бычки-кастраты	18	228,2	58,8	5,2	25,8	4,84	
Герефордская	Бычки	18	285,0	61,4	6,4	27,1	4,94	Инербаев Б.О. (1989 г.)
Черно-пестрая	Бычки-кастраты	18	195,3	56,7	–	21,8	3,7	Рыков А.И. (2003 г.)

²Пат (RU) № 7005. Крупный рогатый скот «Баганский мясной» / Б.О. Инербаев, А.И. Рыков, Н.В. Борисов, Н.Б. Захаров и др. // Госкомиссия РФ по испытанию и охране достижений, приоритет 29.08.2012 г.

опытной группы (см. табл. 2). Они превосходили своих сверстников из контрольной группы на 25,0 кг (6,4%).

Аналогичную ситуацию наблюдали по убойной массе. По массе парной туши животные опытной группы превосходили бычков из контрольной на 15,4 кг (7,5%).

Для изучения морфологического и сортового состава были подвергнуты обвалке и сортовой разделке по три полутуши из каждой группы (см. табл. 3).

По сравнению с контрольной группой масса полутуши опытных животных была выше на 8,1 кг, или 7,6%. По относительной массе мякоти они также превосходили своих сверстников из контрольной группы на 7,8 кг. Бычки опытной группы характеризовались лучшей мясной продуктивностью. С повышением упитанности в туше значительно уменьшается количество костей и соединительной ткани, возрастает содержание жира и несколько падает доля мышц, одновременно происходит повышение пищевой ценности и калорийности мяса.

Результаты химического состава мяса представлены в табл. 4.

Мясо опытных бычков содержало меньше влаги за счет незначительного увеличения белка и жира, по калорийности превосходило мясо контрольных сверстников на 60,4 ккал.

Экспериментальные данные доказывают

Табл. 2. Результаты контрольного убоя подопытных бычков ($M \pm m$)

Table 2. Results of test slaughter of experimental bulls ($M \pm m$)

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Масса, кг:		
предубойная	388,0 $\pm$ 3,78	413,0 $\pm$ 1,00
убойная	229,6 $\pm$ 2,60	245,0 $\pm$ 0,57
парной туши	217,6 $\pm$ 2,33	233,0 $\pm$ 1,00
внутреннего жира	12,0 $\pm$ 0,57	12,0 $\pm$ 0,57
Выход, %:		
убойный	59,2 $\pm$ 0,14	59,3 $\pm$ 0,08
туши	56,1 $\pm$ 0,05	56,4 $\pm$ 0,10
внутреннего жира	3,1 $\pm$ 0,12	2,9 $\pm$ 0,14

влияние высоких племенных и продуктивных качеств матерей на качество мяса сыновей.

Кроме чистопородных обобщены результаты мясной продуктивности помесных животных (см. табл. 5, 6).

Лучшими качественными показателями

Табл. 3. Морфологический и сортовой состав полутуш молодняка в возрасте 15 мес

Table 3. Morphological and varietal composition of half-carasses of the young stock aged 15 months

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Масса:		
полутуши	107,6 $\pm$ 1,20	115,7 $\pm$ 0,33
мякоти:		
кг	88,8 $\pm$ 1,15	96,6 $\pm$ 0,38
%	82,5 $\pm$ 0,14	83,5 $\pm$ 0,08
костей:		
кг	18,8 $\pm$ 0,08	19,1 $\pm$ 0,05
%	17,5 $\pm$ 0,14	16,5 $\pm$ 0,08
Сорт мяса:		
высший:		
кг	12,2 $\pm$ 0,95	13,7 $\pm$ 0,15
%	13,7 $\pm$ 0,88	14,2 $\pm$ 0,11
первый:		
кг	38,0 $\pm$ 0,03	41,6 $\pm$ 0,26
%	42,7 $\pm$ 0,61	43,0 $\pm$ 0,08
второй:		
кг	36,4 $\pm$ 0,23	39,0 $\pm$ 0,11
%	41,1 $\pm$ 0,30	40,4 $\pm$ 0,26
Сухожилия:		
кг	2,2 $\pm$ 0,03	2,3 $\pm$ 0,08
%	2,5 $\pm$ 0,03	2,4 $\pm$ 0,09
Выход мякоти на 1 кг костей	4,7 $\pm$ 0,05	5,1 $\pm$ 0,08

Табл. 4. Химический состав и калорийность мяса бычков при натуральной влажности, %

Table 4. Chemical composition and calorific value of young bulls' meat with natural moisture, %

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Первоначальная влага	62,4	61,6
Белок	21,4	21,8
Жир	15,3	15,7
Зола	0,9	0,9
Калорийность 1 кг мяса, ккал	2654,9	2715,3
Соотношение белка и жира	1,4 : 1	1,4 : 1

Табл. 5. Мясная продуктивность помесных животных разных поколений

Table 5. Meat productivity of cross-bred animals of different generations

Порода, породность	Масса туши, кг	Убойный выход, %	Показатель			Автор, год
			качества белка	спелости	мясности	
Герефордская × симментальская <i>Бычки-кастраты (20 мес)</i>						Борисов Н.В. (1974 г.)
Поколение:						
1-е	233,2	57,09	6,0	33,8	4,76	
2-е	240,0	58,0	5,0	31,6	4,36	
3-е	248,2	58,3	5,6	31,7	5,01	
<i>Телки (20 мес)</i>						
1-е	209,1	57,9	4,5	29,6	4,79	
2-е	208,4	58,1	4,4	32,0	4,92	
3-е	212,8	57,6	5,7	38,2	5,23	
Герефордская × симментальская <i>Телки (18 мес)</i>						
Поколение:						
1-е		57,4	5,4	28,1	4,73	
2-е		57,0	5,8	27,7	4,78	
3-е		57,2	5,8	33,4	4,82	

Табл. 6. Мясная продуктивность помесных животных при разных условиях содержания
(1-е поколение, 18 мес)

Table 6. Meat productivity of cross-bred animals at different housing conditions
(1st generation, 18 months)

Порода, породность	Масса туши, кг	Убойный выход, %	Показатель			Автор, год
			качества мяса	спелости	мясности	
Казахская белоголовая × симментальская						Борисов Н.В. (1979 г.)
Бычки-кастраты						
Условия содержания в помещении:						
3,5 м²/гол.	259,0	53,7	7,5	23,8	4,01	
2,8 м²/гол.	245,7	58,4	6,3	23,9	4,08	
Казахская белоголовая × симментальская						
Бычки						
Условия содержания:						
в помещении	259,0	53,5	6,3	14,9	4,70	
свободно-выгульное	266,0	56,1	6,9	10,8	4,40	
на площадке	285,0	58,0	7,9	11,3	4,70	
Телки						
в помещении	218,0	57,2	8,6	39,7	5,10	
свободно-выгульное	218,6	57,3	8,6	39,7	4,9	
на площадке	210,0	57,5	9,0	42,7	4,7	

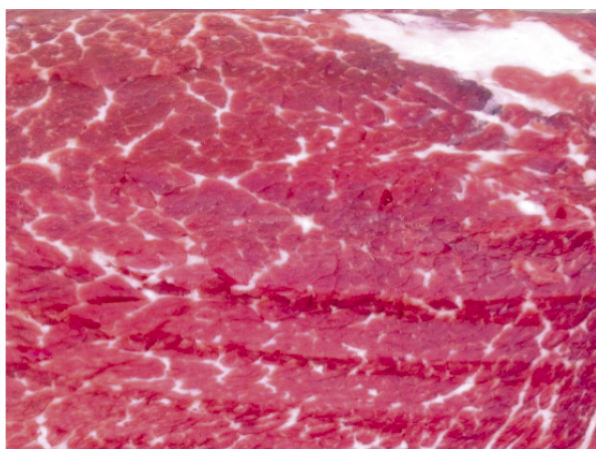
мяса в возрасте 20 мес характеризовались герефорд × симментальские бычки-кастраты 1-го поколения и телки 3-го поколения. В зависимости от условий содержания лидировали казахские белоголовые × симментальские бычки-кастраты 1-го поколения (площадь пола в помещении 3,5 м² на одну голову). По способу содержания превосходство имели казахские белоголовые × симментальские бычки и телки (1-е поколе-

ние) при откорме на площадке.

В последние годы в РФ стали чаще говорить о мраморной говядине и ее полезности. Согласно требованиям мирового стандарта, мраморное (красное мясо) – говядина молодых животных, равномерно пронизанная множеством белых жировых вкраплений в виде мелких шариков и тонких полосок, придающих мясу характерный вид благородного камня. Получают такое мясо от



а



б

Срез длиннейшей мышцы полутуши бычков сибирской селекции с мраморностью 1–2 балла:
а – от австралийских быков-производителей;
б – с мраморностью 6 баллов

Section of longissimus dorsi of young bulls' half-carcass of Siberian breed with marbling 1-2 points:
а – from Australian stud bulls,
б – with marbling 6 points

некоторых специализированных мясных пород: вагью, абердин-ангусской и других, предрасположенных к отложению жировых отложений внутри мышечной ткани. Для его получения нужна особая технология содержания и кормления животных. Для вызревания мясо выдерживают на холоде. В это время ферменты мяса разрыхляют грубую соединительную ткань, отчего оно делается более мягким и нежным [5]. Различают шесть этапов выраженности мраморности – от светло-красного до темного (по цвету), по интенсивности – от низкой до обильной [6–8].

В Сибири вопрос о производстве мраморной говядины пока не актуален, поскольку необходимо наполнить рынок отечественной мясной продукцией средней ценовой категории. Однако научные исследования по мраморности мяса проводятся.

Научно-хозяйственный опыт проведен в Томской области для определения степени влияния спермопродукции герефордов из Австралии на качество мяса. На рисунке четко видна мраморность длиннейшей мышцы бычков, полученных от коров сибирской репродукции и быков-производителей импортной селекции.

ВЫВОДЫ

1. В результате обобщения результатов изучения качества говядины животных наиболее распространенных пород крупного скота и их помесей выявлено, что лучшие показатели имеет герефордская порода.

2. Экспериментально установлено влияние классности матерей на мясную продуктивность герефордских бычков, которые превосходили животных контрольной группы по предубойной массе на 25 кг (6,4%), убойной массе на 15,4 кг (7,5%), относительной массе мякоти на 7,8 кг.

3. Лучшими качественными показателями мяса в возрасте 20 мес характеризовались герефорд × симментальские бычки-кастраты 1-го поколения и телки 3-го поколения.

4. В зависимости от условий содержания по качеству мяса лидировали казахские белоголовые × симментальские бычки-кастраты 1-го поколения (площадь содержания 3,5 м² на одну голову). По способу содержания превосходство имели казахские белоголовые × симментальские бычки и телки 1-го поколения при откорме на площадке.

4. Опытным путем доказано положительное влияние спермопродукции австралийских быков-производителей на мраморность мяса сибирских аналогов (6 баллов).

5. Разработан новый ускоренный способ взятия образца мяса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солошенко В., Гугля В., Золотарев П., Гамарник Н., Храмова И. Специализированное мясное скотоводство Сибири: проблемы и их решение // Главный зоотехник. 2013. № 3. С. 20–32.
2. Каюмов Ф.Г. Мясное скотоводство: отечественные породы, типы, племенная работа, организация воспроизводства стада: монография. М.: Вестник РАСХН, 2014. 216 с.
3. Леицук Г., Алексеева Е., Максупов А. Мясное скотоводство в Зауралье: проблемы и перспективы // Главный зоотехник. 2012. № 11. С. 28–32.
4. Дудин С.Я. Мясное скотоводство: монография. Алма-Ата: Кайнар, 1967. 258 с.
5. Березин П. Говядина: мраморные мечты и жесткая реальность // Председатель. Настольная книга руководителя АПК: монография. Новосибирск, 2013. С. 64–66.
6. Захаров Н.Б., Борисов Н.В. Требования к качеству говядины // Практик (экспертиза). 2007. № 4. С. 32–36.
7. Аманжолов К.Ж., Ержигитов Е.С., Борисов Н.В. О стандартизации говядины: монография. Алматы: Жаних-Полиграф, 2013. 174 с.
8. Инербаев Б.О., Инербаева А.Т. Мясная продуктивность герефордов сибирской репродукции // Техника и технология пищевых производств. 2015. Т. 38. № 3. С. 24–29.

REFERENCES

1. Soloshenko V., Guglya V., Zolotarev P., Gamarnik N., Khramtsova I. Spetsializirovanoe myasnoe skotovodstvo Sibiri: problemy i ikh reshenie [Specialized beef cattle breeding in Siberia: problems and their solution].

- Glavnyi zootekhnik [Chief zootechnician], 2013, no. 3, pp. 20–32. [In Russian].
2. Kayumov F.G. Myasnoe skotovodstvo: otechestvennye porody, tipy, plemennaya rabota, organizatsiya vosproizvodstva stada [Beef cattle breeding: domestic breeds, types, pedigree work, organization of herd reproduction]. M.: Vestnik RASKhN Publ., 2014, 216 p. [In Russian].
3. Leshchuk G., Alekseeva E., Maksupov A. Myasnoe skotovodstvo v Zaural'e: problemy i perspektivy [Beef cattle breeding in Trans-Urals: problems and prospects]. Glavnyi zootekhnik [Chief zootechnician], 2012, no. 11, pp. 28–32. [In Russian].
4. Dudin S.Ya. Myasnoe skotovodstvo [Beef cattle breeding]. Alma-Ata: Kainar Publ., 1967. 258 p.
5. Berezin P. Govyadina: mramornye mechty i zhestkaya real'nost'. APK [Beef: marble dreams and tough reality]. Predsedatel'. Nastol'naya kniga rukovoditelya [Chairman. Reference book of the AIC manager], Novosibirsk, 2013, pp. 64–66. [In Russian].
6. Zakharov N.B., Borisov N.V. Trebovaniya k kachestvu govyadiny [Requirements to the quality of beef]. Praktik (ekspertiza) [Practitioner (expertise)], 2007, no. 4. pp. 32–36. [In Russian].
7. Amanzholov K.Zh., Erzhigitov E.S., Borisov N.V. O standartizatsii govyadiny [On standardization of beef]. Almaty: Zhanikh-Poligraf Publ., 2013. 174 p.
8. Inerbaev B.O., Inerbaeva A.T. Myasnaya produktivnost' gerefordov sibirskoi reproduktcii. [Meat productivity of Herefords of Siberian breed]. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Engineering and technology of food production], 2015, vol. 38. no. 3, pp. 24–29. [In Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Инербаев Б.О.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦА РАН, а/я 463. e-mail: bazin60.nsk@mail.ru

Борисов Н.В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий

AUTHOR INFORMATION

✉ **Inerbaev B.O.**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, Laboratory Head of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: bazin60.nsk@mail.ru

Borisov N.V., Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Дата поступления статьи 10.08.2018
Received by the editors 10.08.2018



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-7

УДК 528.8.04

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СОРНЯКОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВСХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО RGB-ИЗОБРАЖЕНИЯМ

¹Альт В.В., ²Пестунов И.А., ²Мельников П.В., ¹Ёлкин О.В.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

Для цитирования: Альт В.В., Пестунов И.А., Мельников П.В., Ёлкин О.В. Автоматизированное обнаружение сорняков и оценка качества всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 52–60.
DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-7

For citation: Alt V.V., Pestunov I.A., Melnikov P.V., Elkin O.V. Avtomatizirovannoe obnaruzhenie sornyakov i otsenka kachestva vskhodov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur po RGB-izobrazheniyam [Automated detection of weeds and evaluation of crop sprouts quality based on RGB images]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 52–60.
DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-7

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Предложен автоматизированный метод обработки, позволяющий по RGB-изображениям, полученным с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), обнаруживать сорняки и получать количественную и качественную оценку всходов сельскохозяйственных культур. Процесс обработки включает четыре этапа: 1) построение карты растительности с использованием модифицированного треугольного индекса TGI, значение индекса TGI (Triangular Greenness Index) определяется как площадь треугольника, образованного точками на спектральной кривой с длинами волн 480, 550 и 670 нм, позволяющего оценивать количество хлорофилла в листьях по данным RGB-изображений; 2) определение положения рядов посадок и междурядий на основе построенной карты растительности; 3) обнаружение сорняков и построение соответствующей картосхемы; 4) разбиение рядов посадок на непересекающиеся фрагменты и подсчет в каждом из них значения плотности растительности (отношения площади, занятой растительностью, к общей площади фрагмента). Задавая

AUTOMATED DETECTION OF WEEDS AND EVALUATION OF CROP SPROUTS QUALITY BASED ON RGB IMAGES

¹Alt V.V., ²Pestunov I.A.,

²Melnikov P.V., ¹Elkin O.V.

¹Siberian Federal Scientific Centre
of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy
of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

²Institute of Computational Technologies
of the Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences

Novosibirsk, Russia

In this paper, we propose a method of automated data processing allowing to detect weeds and assess crop sprouts quality and quantity based on RGB images obtained by unmanned aerial vehicles (UAVs). The process consists of four main stages: 1) vegetation map generation with the use of modified Triangular Greenness Index (TGI); the index is defined as the area of a triangle formed by 3 points on a spectral curve with wavelengths of 480, 550 and 670 nm and estimates leaf chlorophyll content based on RGB images; 2) determination of the position of crop rows and spaces between rows based on the vegetation map; 3) detection of weeds and generation of an appropriate weed map; 4) division of crop rows into non-intersecting fragments and calculating vegetation density in each (the ratio of vegetation area to the total fragment area). By changing the empirically defined parameters of map thresholds of fragment density, one can

найденные эмпирически пороговые значения для карты плотностей фрагментов, можно получить картосхему, характеризующую качество всходов. В отличие от известных методов предлагаемый подход не использует данные в инфракрасном диапазоне и может быть применен для работы с обычными RGB-изображениями в связке с распространенными типами БПЛА. Метод был протестирован на RGB-изображениях всходов льна и подсолнечника, полученных с помощью камеры SONY ILCE-6000 в июне 2017 г. в Алтайском крае. Изображения сняты с высоты 150 м, пространственное разрешение – 1.5 см/пиксель. Размер каждого изображения составлял 6000 × 4000 пикселей. Результаты тестирования подтвердили высокую эффективность предлагаемого метода.

Ключевые слова: RGB-изображения, БПЛА, модифицированный индекс TGI, автоматизированный метод, обнаружение сорняков, оценка качества всходов

ВВЕДЕНИЕ

Современные концепции точного земледелия требуют наличия точной информации о состоянии сельскохозяйственных культур. Получение такой информации традиционным способом (с помощью полевых наблюдений) сопряжено со значительными материальными и временными затратами.

В последние годы наблюдается стремительный прогресс в развитии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и их масштабное проникновение во многие области человеческой деятельности, в том числе и в сельское хозяйство [1–5]. Применение БПЛА позволяет существенно удешевить и ускорить процесс получения актуальных данных о состоянии посевов с высоким временным и пространственным разрешением. Однако существенным недостатком распространенных БПЛА является их малая грузоподъемность, поэтому на БПЛА зачастую устанавливают легкие и недорогие фото- и видеокамеры, позволяющие получать изображения только в видимом диапазоне спектра. В связи с этим в настоящее время ве-

obtain a map that describes quality of crop sprouts. Unlike existing methods, the proposed scheme does not require presence of infrared data and can be applied to usual RGB images with the use of wide-spread types of UAVs. The method was tested on RGB images of flax and sunflower sprouts collected with SONY ILCE-6000 camera in June, 2017 in Altai Territory. The images were taken at the height of 150 m, spatial resolution was 1.5 cm/pixel. The size of each image was 6000×4000 pixels. Test results confirmed high efficiency of the proposed method.

Keywords: RGB-images, UAV, TGI modified index, automated method, weed detection, quality assessment of sprouts

дуются активные исследования по разработке методов и подходов, основанных на использовании RGB-изображений с БПЛА, для решения разнообразных задач мониторинга сельскохозяйственных посевов¹ [6–11].

Цель исследования – разработка автоматизированного метода обнаружения сорняков и получения количественной и качественной оценок всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям с БПЛА.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для исследования использованы RGB-изображения всходов льна и подсолнечника, полученные с помощью беззеркальной камеры SONY ILCE-6000 в июне 2017 г. в Алтайском крае специалистами ООО «Беспилотные технологии». Изображения сняты с высоты 150 м, пространственное разрешение 1.5 см/пиксель. Размер каждого изображения 6000 × 4000 пикселей. На рис. 1 представлены примеры фрагментов таких изображений.

¹ Lottes, P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegwart, R., & Stachniss, C. UAV-based crop and weed classification for smart farming. In Robotics and Automation (ICRA). *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Singapore, 29 May–3 June 2017, 2017, pp. 3024–3031.



Рис. 1. Фрагменты RGB-изображений всходов льна (а) и подсолнечника (б)
Fig. 1. Fragments of RGB images of flax (a) and sunflower sprouts (b)

Предлагаемый метод обнаружения сорняков и получения количественной и качественной оценок всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям с БПЛА предполагает выполнение следующих основных этапов обработки.

1. Построение карты растительности с использованием модифицированного индекса TGI (Triangular Greenness Index [12]), позволяющего оценивать количество хлорофилла в листьях по их RGB-изображениям.
2. Определение положения рядов посадок и междурядий на основе построенной карты растительности.

3. Обнаружение сорняков и построение соответствующей картосхемы.
4. Разбиение рядов посадок на непересекающиеся фрагменты и подсчет в каждом из них значения плотности растительности (отношения площади, занятой растительностью, к общей площади фрагмента).

Задавая найденные эмпирически пороговые значения для карты плотностей фрагментов, можно получить картосхему, характеризующую качество всходов.

Наглядная схема обработки представлена на рис. 2.

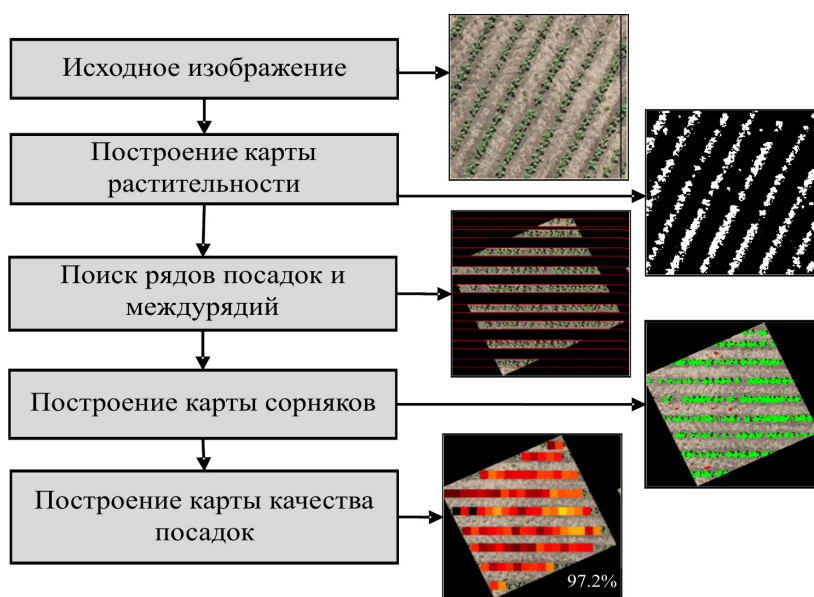


Рис. 2. Схема обработки изображений
Fig. 2. The scheme of image processing

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Построение карты растительности. В работе [12] предлагается индекс TGI для оценки количества хлорофилла в листьях по данным RGB-съемки. В этой статье дан обзор большого числа других индексов, в том числе использующих только RGB-данные: VARI, GLI, NGRDI, и показывается, что индекс TGI лучше других коррелирует с содержанием хлорофилла.

Значение индекса TGI определяется как площадь треугольника, образованного точками на спектральной кривой с длинами волн 480, 550 и 670 нм по формуле

$$TGI = -0,5((\lambda_R - \lambda_B)(R - G) - (\lambda_R - \lambda_G)(R - B)). \quad (1)$$

На рис. 3 показаны две спектральные кривые для двух объектов, имеющих различное содержание хлорофилла, и значения, по которым считается индекс.

Типичный сенсор CMOS для бытовой фотоаппаратуры имеет пики чувствительности²: $\lambda_R = 625$ нм, $\lambda_G = 525$, $\lambda_B = 460$ нм. Для задачи выделения растительности индекс можно считать с точностью до постоянного коэффициента, и формулу (1) можно упростить:

$$TGI = -0,61B + G - 0,39R.$$

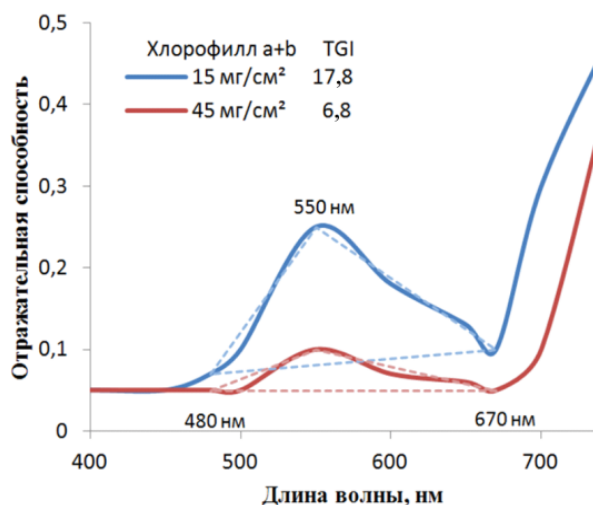


Рис. 3. Две спектральных кривых разных объектов и треугольники, используемые для расчета индекса TGI (показаны пунктиром)

Fig. 3. Two spectral curves of different objects, and triangles used for calculation of TGI index (shown by dotted lines)

Для оценки эффективности индекса были выбраны размеченное (для обучения) и тестовое изображения размером 400×300 пикселей (см. рис. 4). Они являются фрагментами полноразмерных изображений всходов пшеницы.

Точность классификации с помощью индекса TGI с порогом 0,07 (оптимальное значение, подобранное эмпирически) составила 94,19% для обучающего изображения и 83,88% для тестового.

Поскольку рассматриваемая задача отличается от задачи, для которой был разработан индекс TGI, представляется целесообразным модификация индекса для задачи выделения растительности с использованием конкретного сенсора и конкретных условий съемки.

Модификация индекса TGI. Для поиска оптимальных значений коэффициента индекса была выполнена процедура глобальной оптимизации, целевой функцией являлось количество неправильно классифицированных пикселей:

$$TGI_{a,b}[i, j] = aB[i, j] + G[i, j] + bR[i, j],$$

$$Ret_{a,b,t}[i, j] = \begin{cases} 1, & TGI_{a,b}[i, j] > t, \\ 0, & \end{cases}$$

$$Err_{a,b,t}[i, j] = \begin{cases} 1, & Ret_{a,b,t}[i, j] \neq GT[i, j], \\ 0, & \end{cases}$$

$$Cost_{a,b,t} = \sum_{i,j} Err_{a,b,t}[i, j] \rightarrow \min_{a,b,t}$$

Здесь i, j – координаты пикселей на изображениях; R, G, B – каналы обрабатываемого изображения; a, b, t – параметры оптимизации (коэффициенты для синего и красного каналов и пороговое значение индекса); GT – бинарное изображение эталонной картосхемы, созданной на основе экспертных данных.

Для решения задачи оптимизации использован метод дифференциальной эволюции – предложенный в 1995 г. метод глобальной оптимизации, не требующий вычисления производных функций и явля-

²McKinnon T., Hoff P. Comparing RGB-Based Vegetation Indices with NDVI for Agricultural Drone Imagery. <https://agribotix.com/blog/2017/04/30/comparing-rgb-based-vegetation-indices-with-ndvi-for-agricultural-drone-imagery>

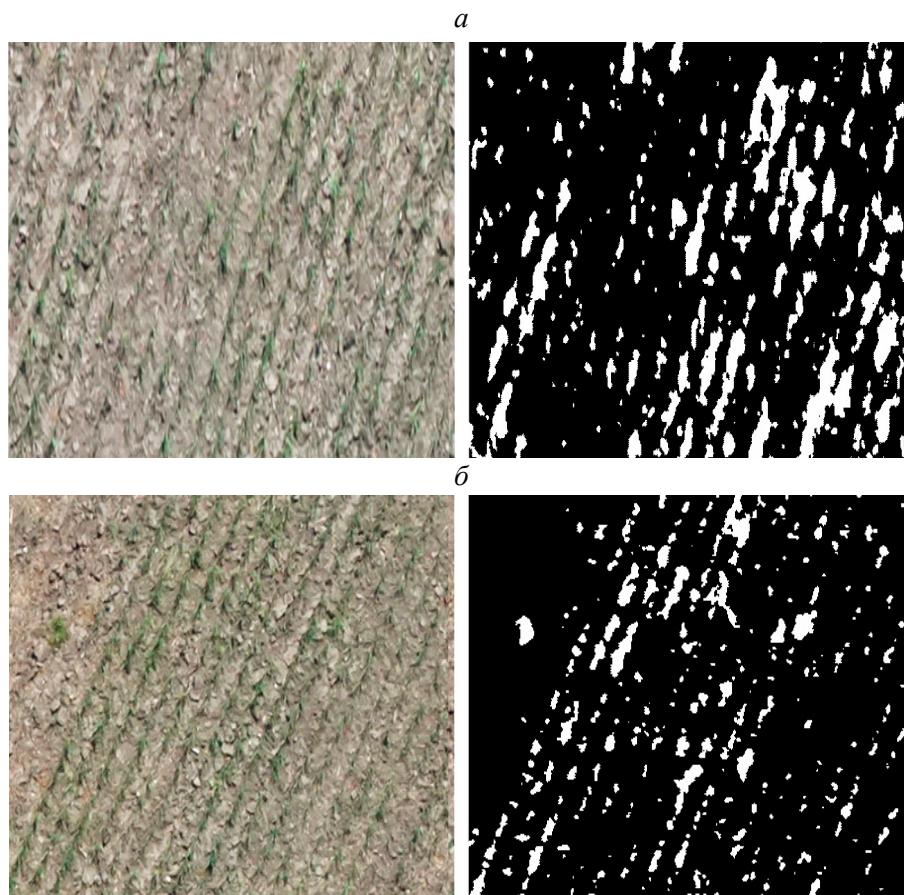


Рис. 4. Обучающее изображение и его эталонное разбиение (а),
тестовое изображение и его эталонное разбиение (б)

Fig. 4. Training image and its model division (a), test image and its model division (б)

ющийся развитием идей генетических алгоритмов [13]. В результате найдены оптимальные значения коэффициентов индекса и порога:

$$TGI_{best} = -0,25B + G - 0,76R > 0,017.$$

Точность выделения растительности на обучающей выборке с помощью данного индекса 97,88%, точность на тестовом изображении 89,48%.

Поиск рядов всходов и междурядий. На следующем этапе необходимо на карте растительности найти области, занятые полезными всходами, чтобы при последующем расчете качества всходов не учитывать сорняки. Для этого выполняется поиск рядов и междурядий по следующему алгоритму:

- 1) определение направления рядов всходов;
- 2) определение положений рядов всходов.

Карта растительности поворачивается на всевозможные углы, для каждого угла и для

каждого горизонтального ряда пикселей определяется количество пикселей, содержащих растительность. По полученному вектору определяется «контраст» – разница между 5-м и 95-м процентилими значений. Когда ряды растительности расположены вдоль горизонтальной оси изображения, «контраст» имеет большое значение (см. рис. 5, б), так как некоторые ряды пикселей содержат только пиксели почвы, а некоторые – только пиксели растительности. Если же ряды всходов не параллельны оси изображения, «контраст» имеет малое значение, так как горизонтальные ряды пикселей содержат как пиксели почвы, так и пиксели растительности (см. рис. 5, а). Поэтому направление рядов всходов на изображении определяется как угол поворота изображения, при котором «контраст» максимален (см. рис. 6).

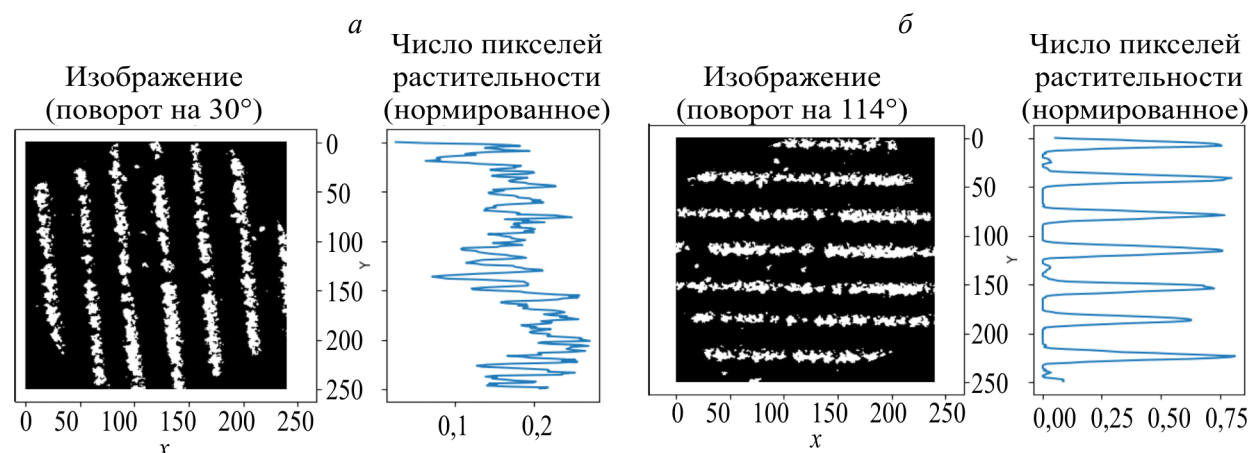


Рис. 5. Число пикселей растительности в горизонтальных рядах изображения при повороте на 30° (а) и 114° (б)

Fig. 5. The number of vegetation pixels in horizontal rows of the image when rotated at 30° (a) and 114° (b)

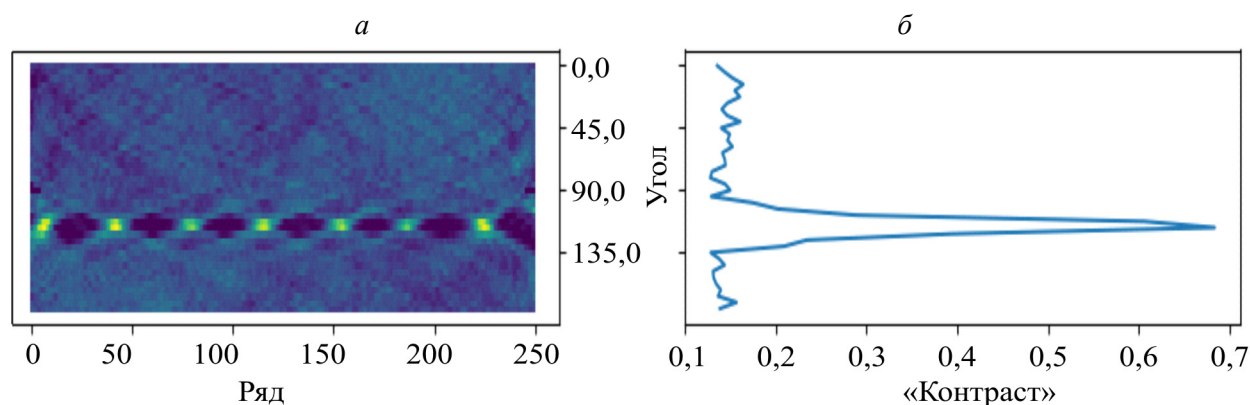


Рис. 6. Количество пикселей растительности в каждом горизонтальном ряду пикселей в зависимости от угла поворота изображения (а – показано цветом) и значения «контраста» для различных углов поворота изображения (б)

Fig. 6. The number of vegetation pixels in each horizontal row of pixels depending on the angle of rotation of the image (a, in colour) and “contrast” values for different rotation angles of the image (b)

После нахождения угла поворота рядов всходов необходимо определить положение каждого ряда. Эта задача решается путем поиска пиков (локальных максимумов) с определенными характеристиками на графике числа пикселей растительности. Искомые пики должны иметь достаточное абсолютное значение и сильно отличаться от окружающих пикселей (см. рис. 7).

Ширина рядов может определяться как автоматически – путем поиска минимумов на том же графике (при этом качество определения может быть снижено при наличии сорняков, увеличивающих ширину рядов), так и задаваться экспертом, исходя из ин-

формации о сельскохозяйственных культурах (нормативы посевов, возраст посадок и т.д.). На основе этой информации строится карта сорняков (см. рис. 8).

Вычисление качества всходов. Помимо карты сорняков, полученной на предыдущем этапе, важным результатом работы всей предлагаемой схемы является карта плотности полезной растительности, по которой можно оценить качество всходов. Для построения карты найденные ряды посадок разбивались на непересекающиеся прямоугольные фрагменты, в каждом из них подсчитывался процент пикселей, занятых растительностью (см. рис. 9). Задавая поро-

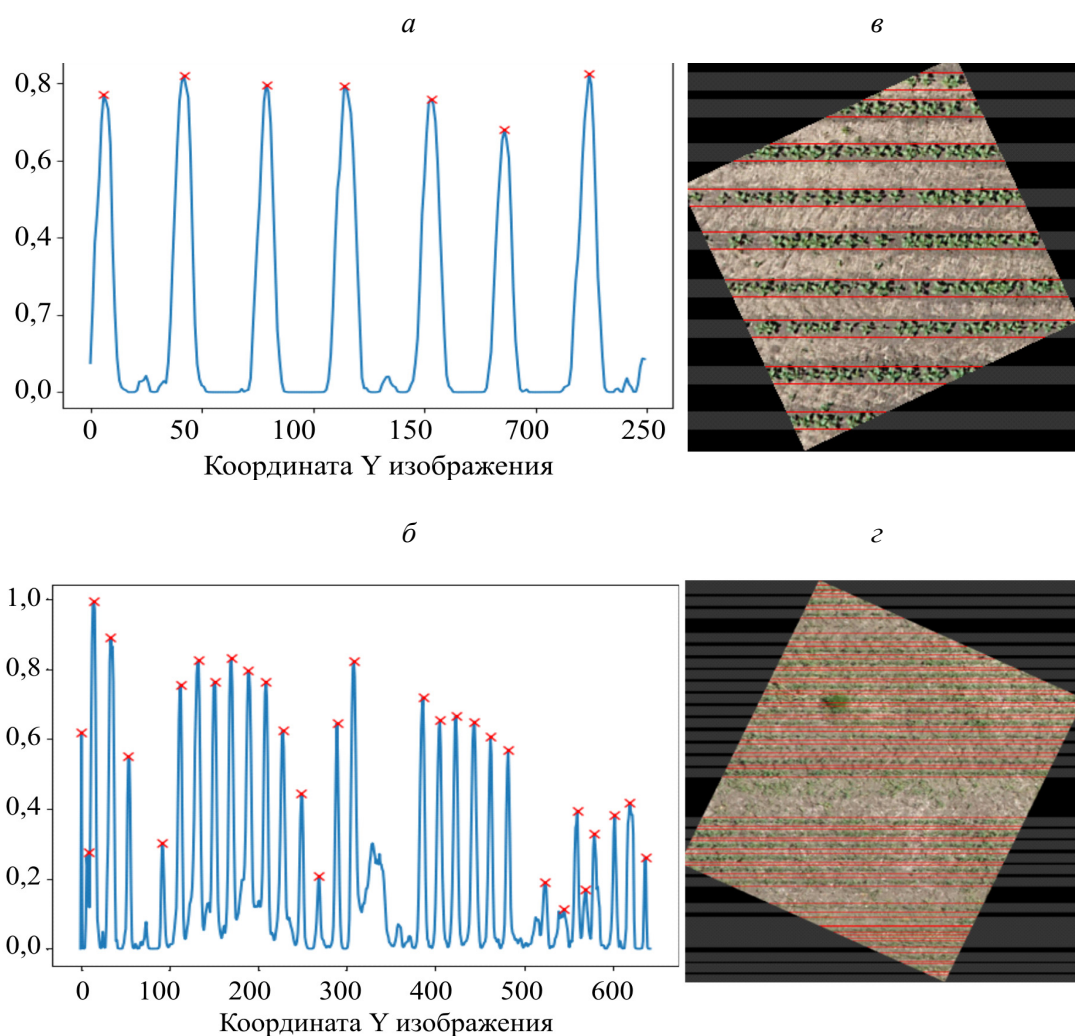


Рис. 7. Результат поиска пиков на графике количества пикселей растительности (а, б – символами «х» обозначены найденные ряды всходов) и ряды всходов, отмеченные на изображениях подсолнечника (а) и льна (б)

Fig. 7. Results of peak search on the graph of the number of vegetation pixels (а, б – symbols «х» show rows of sprouts found) and sprout rows marked on the images of sunflower (а) and flax (б)

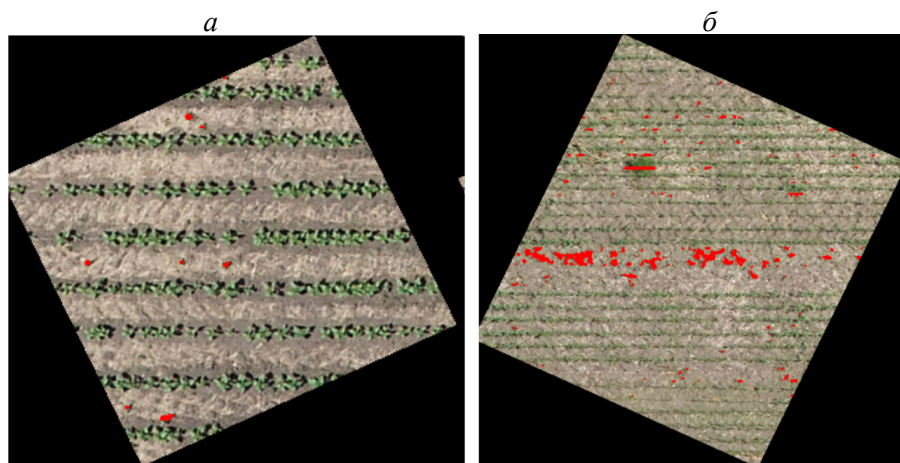


Рис. 8. Карта сорняков для изображений подсолнечника (а) и льна (б)

Fig. 8. The weed map for sunflower image (а) and flax image (б)

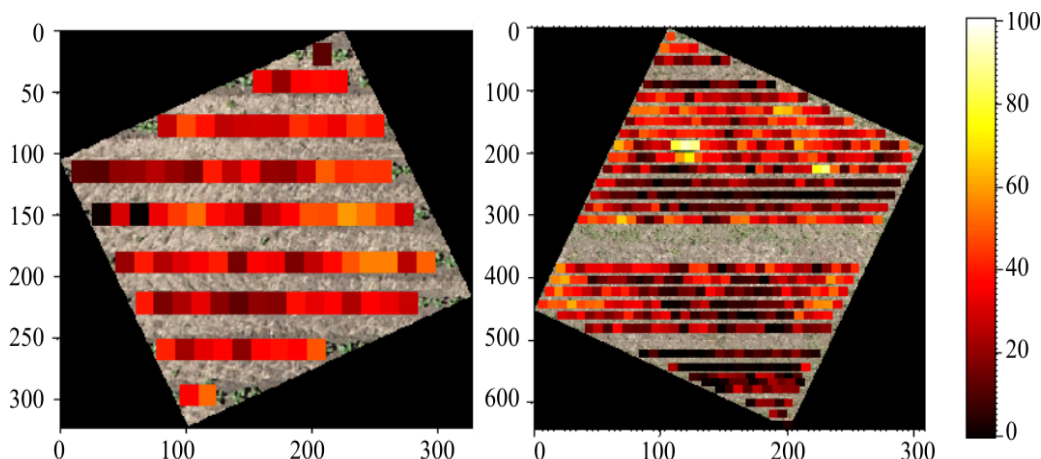


Рис. 9. Визуализация фрагментов, занятых полезной растительностью

Fig. 9. Visualization of fragments covered with useful vegetation

говые значения для данной карты, эксперты могут получить классификацию растительности по качеству, содержащую необходимое число классов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты тестирования предложенного автоматизированного метода обнаружения сорняков и оценки качества всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям, полученным с беспилотного летательного аппарата, подтверждают его высокую эффективность. В отличие от известных методов предлагаемый подход не использует данные в инфракрасном диапазоне и может применяться для работы с обычными RGB-изображениями в связке с распространенными типами БПЛА.

REFERENCES

1. Huang Y., Lee M.A., Thomson S.J., Reddy K.N. Ground-based hyperspectral remote sensing for weed management in crop production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2016, vol. 9(2), pp. 98–109.
2. Pena J.M., Torres-Sanchez J., de Castro A.I., Kelly M., Lopez-Granados F. Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *PloS ONE*, 2013, vol. 8(10), DOI: 10.1371/journal.pone.0077151
3. Pena Barragan J.M., Kelly M., Castro A.I.D., Lopez Granados F. Object-based approach for crop row characterization in UAV images for site-specific weed management. *Proceedings of the 4th GEOBIA*, 2012, pp. 426–431.
4. Chu T., Starek M.J., Brewer M.J., Murray S.C., Pruter L.S. Assessing lodging severity over an experimental maize (*Zea mays* L.) field using UAS images. *Remote Sensing*, 2017, vol. 9(9), pp. 923. DOI: 10.3390/rs9090923
5. Eitel J.U.H., Long D.S., Gessler P.E., Hunt E.R. Combined spectral index to improve ground-based estimates of nitrogen status in dryland wheat. *Agronomy Journal*, 2008, vol. 100, pp. 1694–1702.
6. Makanza R., Zaman-Allah M., Cairns J.E., Magorokosho C., Tarekegne A., Olsen M., Prasanna B. High-Throughput Phenotyping of Canopy Cover and Senescence in Maize Field Trials Using Aerial Digital Canopy Imaging. *Remote Sens*, 2018, vol. 10. DOI: 10.3390/rs10020330.
7. Pena J.M., Torres-Sanchez J., Serrano-Perez A., de Castro A.I. Quantifying Efficacy and Limits of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology for Weed Seedling Detection as Affected by Sensor Resolution. *Sensors*, 2015, vol. 15, pp. 5609–5626. DOI: 10.3390/s150305609
8. Liu T., Li R., Jin X., Ding J., Rui L., Xiuliang J., Xinkai Z., Chengming S., Wenshan G. Evaluation of Seed Emergence Uniformity of Mechanically Sown Wheat with UAV RGB Imagery. *Remote Sensing*, 2017, vol. 9(12), pp. 1241–1256. DOI: 10.3390/rs9121241

9. Gracia-Romero A., Vergara-Diaz O., Thierfelder C., Cairns J.E., Kefauver S.C., Araus J.L. Phenotyping conservation agriculture management effects on ground and aerial remote sensing assessments of maize hybrids performance in Zimbabwe. *Remote Sensing*, 2018, vol. 10 (2), pp. 349–370. DOI: 10.3390/rs10020349
10. Gnadinger F., Schmidhalter U. Digital counts of maize plants by unmanned aerial vehicles (UAVs). *Remote Sensing*, 2017, vol. 9(6), DOI:10.3390/rs9060544
11. Bareth G., Bolten A., Hollberg J., Aasen H. Feasibility study of using non-calibrated UAV-based RGB imagery for grassland monitoring: Case study at the Rengen Long-term Grassland Experiment (RGE), Germany. *DGPF Tagungsband*, 2015, vol. 24, pp. 1–7.
12. Hunt E.R. Jr., Doraiswamy P.C., McMurtrey J.E. A visible band index for remote sensing leaf Chlorophyll content at the Canopy Scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, vol. 21, pp. 103–112. DOI: 10.1016/j.jag.2012.07.020.
13. Storn R., Price K. Differential Evolution – a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 1997, vol. 11, pp. 341–359.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Альт В.В.**, академик РАН, доктор технических наук, руководитель Сибирского физико-технического института аграрных проблем Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: sibfti.n@ngs.ru

Пестунов И.А., кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: pestunov@ict.sbras.ru

Мельников П.В., ведущий специалист Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук

Ёлкин О.В., кандидат технических наук, заведующий сектором Сибирского физико-технического института аграрных проблем Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук

AUTHOR INFORMATION

✉ **Alt V.V.**, Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in Engineering, Head of Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: sibfti.n@ngs.ru

Pestunov I.A., Candidate of Science in Physics and Mathematics, Leading Researcher of the Institute of Computational Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: pestunov@ict.sbras.ru

Melnikov P.V., Leading Specialist of the Institute of Computational Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Elkin O.V., Candidate of Science in Engineering, Sector Manager of the Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Финансовая поддержка:

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований Сибирского отделения Российской академии наук «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 гг. по проекту «Разработка цифровых технологий раннего обнаружения и локализации поражений посевов сельскохозяйственных культур».

Дата поступления статьи 27.07.2018
Received by the editors 27.07.2018

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕЛОСТИ ЯГОД

¹Минеев В.В., ^{1,2}Алейников А.Ф., ¹Ёлкин О.В., ¹Морозов В.Б.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет

Новосибирск, Россия

Для цитирования: Минеев В.В., Алейников А.Ф., Ёлкин О.В., Морозов В.Б. Прибор для определения спелости ягод // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 61–67. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-8

For citation: Mineev V.V., Aleinikov A.F., Elkin O.V., Morozov V.B. Pribor dlya opredelenia spelosti yagod [The device for berry ripeness determination]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 61–67. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-8

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Рассмотрен вариант аппаратной реализации экспресс-метода биоимпедансной спектрометрии для оценки степени спелости ягод. Метод основан на измерении электрофизических параметров биологических тканей ягод при изменении проницаемости клеточных мембран в процессе созревания. При создании портативного прибора для экспресс-оценки степени спелости ягод использованы следующие результаты исследований. После начала созревания, когда происходит рост содержания сухих растворимых веществ, наблюдается рост информативного показателя – коэффициента дисперсии поляризации ткани, определяемого как отношение модулей электрических импедансов, измеренных на двух частотах. При достижении ягодами съемной спелости его рост существенно замедляется и стабилизируется. Прибор позволяет оператору фиксировать этот процесс и определять оптимальные сроки уборки. Принцип действия прибора заключается в следующем. Ягода помещается в датчик импеданса, выполненного в виде прищепки, и контактирует с его электродами. Под управлением микроконтроллера в ягоде между электродами поочередно задается ток от двух источников синусоидального тока с разными частотами. При протекании тока напряжение на электродах пропорционально модулю импеданса ткани ягоды. Далее напряжения каждой частоты преобразуются в коды и поочередно поступают в микроконтроллер, где вычисляется их отношение – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды. Результат вычисления отображается на экране буквенно-

THE DEVICE FOR BERRY RIPENESS DETERMINATION

¹Mineev V.V., ^{1,2}Aleinikov A.F.,
¹Elkin O.V., ¹Morozov V.B.

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia;

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The paper analyzes the hardware implementation of the rapid method of bioimpedance spectrometry for assessing the degree of berry ripeness. This method is based on the measurement of electrophysical parameters of biological tissues of berries given that the permeability of cell membranes changes during ripening. When creating a portable device for rapid assessment of the degree of berry ripeness, the research results described below were used. After the onset of maturation, when there is an increase in the content of dry soluble substances, there is also an increase in the informative indicator – the coefficient of dispersion of tissue polarization, defined as the ratio of the modules of electrical impedances measured at two frequencies. When berries reach ripeness suitable for harvesting, its increase significantly slows down and stabilizes. The device allows the operator to record this process and determine the optimal timing for harvesting. The operation principle of the device is as follows. The berry is placed in the impedance sensor, made in the form of a clothespin, and contacts with its electrodes. Regulated by the microcontroller, electric current from two sources of sinusoidal current with different frequencies is alternately set between the electrodes in a berry. When the current flows, the voltage across the electrodes is proportional to the magnitude of the berry tissue impedance module. Next, the voltage of each frequency is converted to codes and alternately sent to the microcontroller, which calculates their ratio – the coefficient of dispersion of berry tissue polarization. The result of the calculation is displayed on the screen of the alpha-numeric indicator. Before the beginning of

цифрового индикатора. Перед началом созревания оператор с помощью прибора с периодичностью 2–3 дня осуществляет наблюдения за изменением коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды. Когда его рост прекратится, ягода считается достигшей съемной спелости.

Ключевые слова: спелость ягод, средства контроля, биологическая ткань, биоимпеданс

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение в рационе питания населения ягод, обладающих низкой калорийностью и содержащих значительное количество витаминов, микроэлементов, органических кислот, пектинов, глюкозидов, неорганических солей и других ценных веществ, существенно влияет на обмен веществ и жизнедеятельность организма [1]. Особенно важно потребление ягод в свежем виде. Для этого необходимо в течение определенного периода сохранять товарные, пищевые и вкусовые качества без потерь массы ягод [2]. Качество ягод является результатом сложных физиологических и биохимических реакций, происходящих во время всего вегетативного цикла культуры.

Степень спелости (зрелости) при съеме урожая ягод – один из важных факторов, определяющих продолжительность их хранения. Поздний съем ягод снижает урожай следующего года, переспелые ягоды плохо хранятся [2]. Рано снятые плоды не успевают получить необходимый запас органических веществ и плохо дозревают при хранении. Плоды в оптимальной для сорта степени съемной спелости отличаются более низкой интенсивностью дыхания и его равномерным изменением при хранении [3].

Для оценки степени спелости ягод используется, например, метод определения съемной зрелости по разности общих и растворимых сухих веществ [2]. Содержание общих сухих веществ определяют высушиванием, растворимых – рефрактометром. По мере повышения степени зрелости ягод разность веществ уменьшается. Недостаток метода – большие затраты труда и времени. Известна также методика определения

berry maturation, an operator monitors the change in the dispersion coefficient of the berry tissue polarization with the help of the device at intervals of 2-3 days. When its increase stops, the berry is considered to have reached ripeness suitable for harvesting.

Key words: ripeness of berries, control means, biological tissue, bioimpedance

съемной зрелости по твердости мякоти [2]. По мере созревания твердость мякоти уменьшается, что обусловлено увеличением количества пектина. Для определения твердости мякоти используется пенетrometer. Использование этой методики ограничено, так как она применима лишь для ягод, содержащих мякоть. Более достоверные методики основаны на методах определения физиологических показателей, связанных с созреванием (йодокрахмальная проба, отражение света поверхностью ягоды, ее флуоресценция). Однако они требуют или больших затрат труда и времени, или использования дорогостоящего оборудования [3]. Наибольшего внимания заслуживают экспресс-методы анализа, использующие изменение проницаемости клеточных мембран при созревании, в качестве информативных показателей – электрофизические параметры биологических тканей. Среди них известны метод заряда биологической ткани [4] и наиболее перспективный метод биоимпедансной спектromетрии [5, 6]. Однако портативные инструментальные средства для экспресс-оценки степени спелости ягод отсутствуют на рынке Российской Федерации.

Цель работы – реализовать метод биоимпедансной спектromетрии в виде портативного прибора для определения спелости ягод с возможностью его использования в полевых условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели использованы материалы исследований метода биоимпедансной спектromетрии, проведенных в Сибирском физико-техническом

институте аграрных проблем СФНЦА РАН на ягодах черной смородины и облепихи. Выявлено наличие связи электрофизических параметров растительных тканей ягод смородины и облепихи со степенью их спелости и выбран информативный параметр – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$, определяемый как отношение модулей электрических импедансов, измеренных на двух частотах – 1 кГц и 1 МГц [7]. Установлено также, что после начала созревания, т.е. в период, когда происходит рост содержания сухих растворимых веществ (ССРВ), наблюдается также и рост коэффициента $K(z)$. При достижении ягодами облепихи съемной спелости его рост существенно замедляется и стабилизируется (см. рис. 1). Для ягод смородины наблюдалась аналогичная динамика изменения коэффициента $K(z)$ от даты сбора. Подобная динамика изменения отношения сопротивлений мякоти яблок от срока сбора получена также в исследовании [8]. Этот факт

использован в данной работе при создании портативного прибора для экспресс-оценки степени спелости ягод.

Синтез принципиальной схемы прибора осуществляли с использованием методов теории измерительных преобразователей, теории алгоритмических измерений и руководств фирм-производителей датчиков и электронных компонентов [9, 10].

Характеристики погрешности экспериментального образца прибора определяли методами теории вероятностей и математической статистики¹. Входная величина прибора – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$ или отношение электрического импеданса в низкочастотной области к электрическому импедансу в области высоких частот – задавалась с помощью двух магазинов сопротивлений МСР63. Вычисления осуществляли с помощью программы Excel.

Исследования характеристик проводили при температуре окружающего возду-

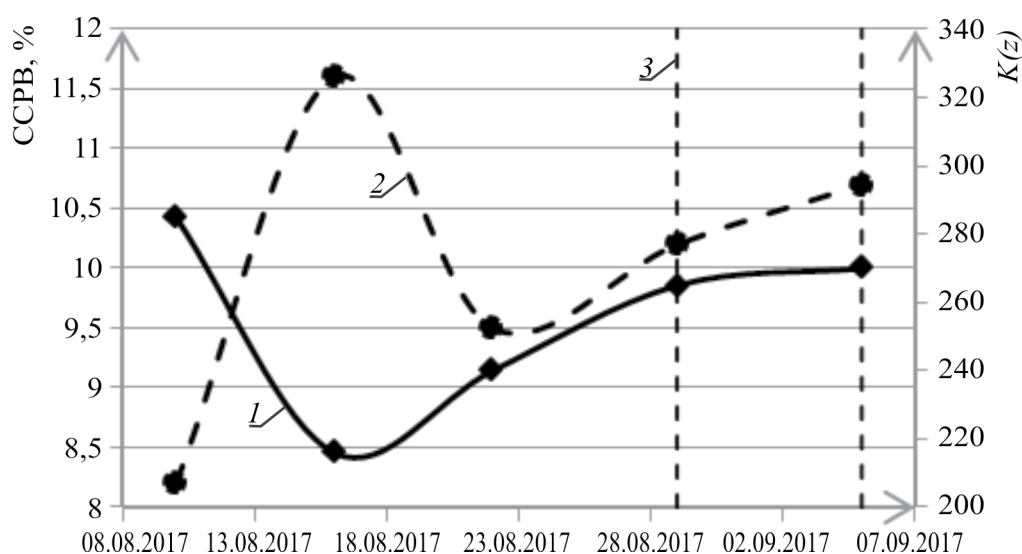


Рис. 1. Графики зависимостей ССРВ и коэффициента дисперсии поляризации ткани $K(z)$ ягод облепихи Алтайская от сроков сбора ягод:
1 – значения коэффициента $K(z)$; 2 – значения ССРВ; 3 – границы зоны спелости

Fig. 1. Dependency graph of soluble dry substance content and dispersion coefficient of berry tissue polarization $K(z)$ of sea buckthorn berries *Altaiskaya* against harvesting time:
1 – coefficient $K(z)$; 2 – soluble dry substance content; 3 – borders of maturity zones

¹ГОСТ 8.508–84 ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации. Общие методы оценки и контроля. М.: Издательство стандартов, 1984. 53 с.

ха (20 ± 5) °C и относительной влажности воздуха (40 ± 5)%. Параметры климата контролировали следующими средствами измерений: термометром ТМЦЭ-2В № 1599, 2012 г. (диапазон от 0 до 100 °C, дискретность 0,1 °C, погрешность $\pm 0,5$ °C); гигрометром ИВА-6А № 642, 2009 г. (диапазон от 0 до 98%, дискретность 0,1%, погрешность ± 2 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате работы создано устройство, реализующее принцип оценки спелости ягод путем измерения коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$. Вариант функциональной схемы устройства

представлен на рис. 2, где для каждого функционального элемента приведены наименования применяемых микросхем.

Вместо преобразователя «напряжение – частота» могут использоваться также и аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Принцип действия прибора для оценки спелости ягод заключается в следующем. Управляющие напряжения U_1 , U_2 с выхода микроконтроллера *CPU* с помощью мультиплексора *MUX* задают ток в ягоде между электродами поочередно от двух генераторов синусоидального напряжения с частотами F_1 и F_2 . Величина тока определяется ограничителем тока Z_k . При протекании тока напряжение на электродах пропорционально модулю импеданса ткани, заклю-

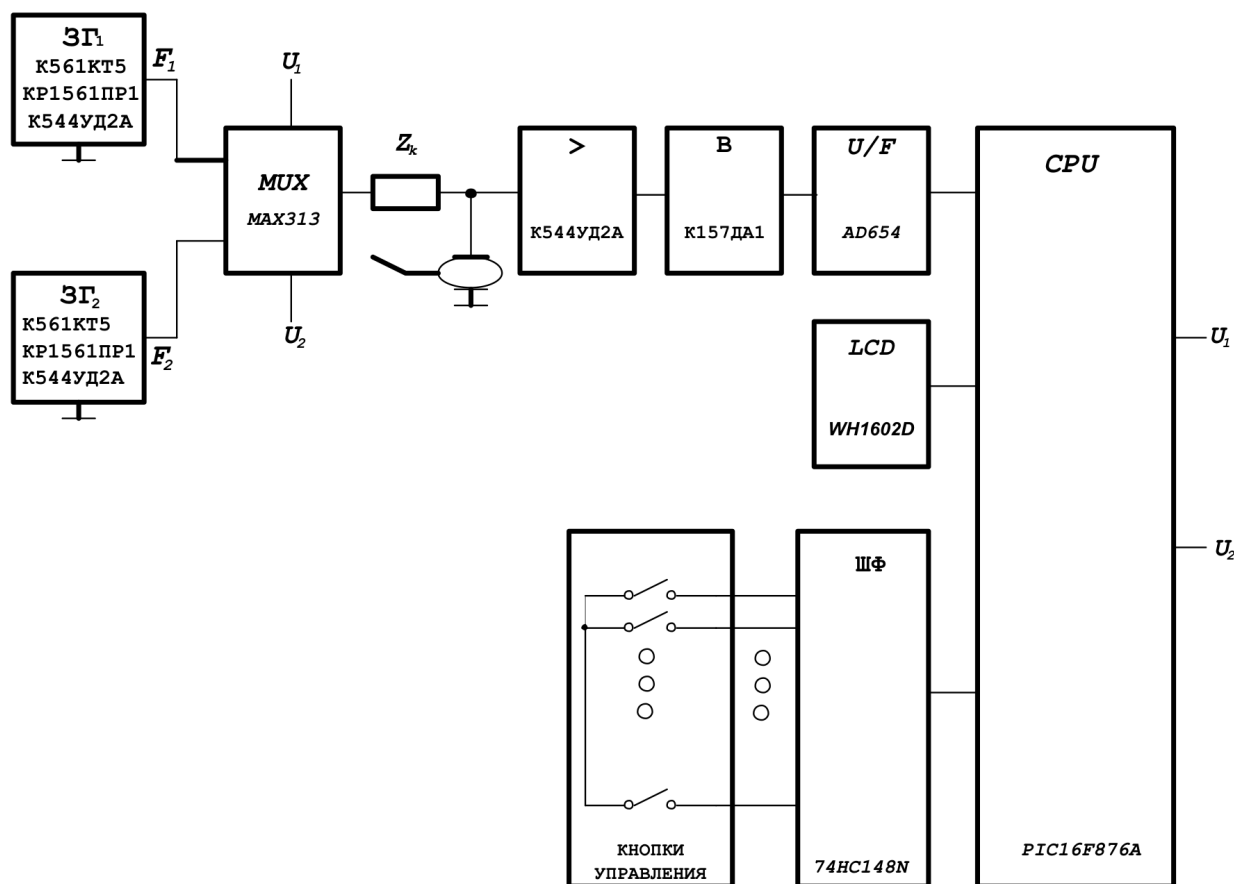


Рис. 2. Функциональная схема устройства для оценки спелости ягод:

3Г₁, 3Г₂ – задающие генераторы синусоидального напряжения на частотах F_1 и F_2 ;
MUX – мультиплексор; Z_k – ограничитель тока; > – инструментальный усилитель;
B – амплитудный детектор; *U/F* – преобразователь «напряжение – частота»; *CPU* – микроконтроллер;
LCD – буквенно-цифровой индикатор; ШФ – шифратор; U_1 , U_2 – управляющие напряжения

Fig. 2. Functional scheme of the device for berry ripeness assessment:

3Г₁, 3Г₂ – generators that set sinusoidal voltage at frequencies F_1 and F_2 ; *MUX* – multiplexor; Z_k – current regulator; > – instrumentation amplifier; *B* – amplitude detector; *U/F* – converter «voltage – frequency»; *CPU* – microcontroller; *LCD* – alpha-numeric indicator; ШФ – code device; U_1 , U_2 – voltage regulators

ченной между этими электродами. Далее усиленные, выпрямленные и преобразованные в коды напряжения каждой частоты F_1 и F_2 поочередно поступают в микроконтроллер *CPU*, где вычисляется отношение кодов этих двух частот, т.е. коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$. Результат вычисления отображается на экране буквенно-цифрового индикатора *LCD*. По полученному значению $K(z)$ судят о спелости ягод. Для оперативного подключения к ягодам разработаны и изготовлены датчики импеданса в виде прищепок на базе неполяризующихся чашечковых электродов 9013E2372 производства фирмы «Alpine Biomed» (Германия). Для ягод с мякотью разработан вариант датчиков импеданса с игольчатыми электродами от измерителя влажности древесины «GANN HT 35» (Германия). Для уменьшения контактного сопротивления между чашечковыми электродами и поверхностью ягод используется электродный гель «Акугель-Электро» производства ООО «МедиКрафт» (Россия).

Работоспособность прибора проверена с помощью экспериментального образца. Погрешность измерения коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$, которую определяли путем задания отношения сопротивлений магазинами сопротивлений МСР63, не превысила $\pm 5\%$.

Предполагается следующий порядок работы с устройством в полевых условиях. После изменения окраски кожицы ягод и приобретения ими цвета, характерного для начала созревания, оператор с помощью устройства с периодичностью 2–3 дня осуществляет наблюдения за изменением коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$. Когда его рост прекратится, ягода считается достигшей съемной спелости.

Предполагается дальнейшее усовершенствование прибора в следующих направлениях:

– расширить диапазон измерения биоимпеданса, что позволит увеличить ассортимент диагностируемых садовых культур, и уменьшить погрешность измерений, возникающую из-за паразитных емкостей на

высокой частоте, за счет применения источника зондирующего тока, предложенного в работе [11].

– повысить достоверность определения спелости плодов за счет поличастотной импедансометрии, которая возможна при использовании специальной микросхемы фирмы Analog Devices AD5933 (многочастотный измеритель импеданса) [12].

ВЫВОДЫ

1. Аппаратурно реализован метод биоимпедансной спектрометрии в виде портативного прибора для определения спелости ягод с возможностью его использования в полевых условиях.

2. Ягода считается достигшей съемной спелости, если в процессе наблюдения с использованием прибора оператор фиксирует прекращение роста коэффициента дисперсии поляризации ее ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короткий И.А.* Сибирская ягода. Физико-химические основы технологий низкотемпературного консервирования: монография. Кемерово: КемТИПП, 2007. 146 с.
2. Методическое и аналитическое обеспечение исследований по садоводству: монография / под общ. ред. Е.А. Егорова. Краснодар: СКЗНИИСИВ, 2010. 299 с.
3. *Родинов С.А.* Методы и устройства анализа зрелости яблок: монография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 216 с.
4. *Гордеев А.С., Дроздов Д.В.* Прибор для прогнозирования качества // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2006. № 2. С. 79–83.
5. *Acácio Figueiredo Neto, Nelson Cárdenas Olivier, Erlon Rabelo Cordeiro et al.* Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy // Computers and Electronics in Agriculture. 2017. N 143. P. 222–226.
6. *Chowdhury A., Bera T.K., Ghoshal, D. Chakraborty B.* Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy // Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc. 2015. N 1. P. 97–99.

7. Алейников А.Ф., Минеев В.В. Метод оценки зрелости ягод без их разрушения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 2. С. 72–80. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-11
8. Родиков С.А. Применение переменного электрического тока для контроля качества яблок // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 2. С. 68–70.
9. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. Датчики (перспективные направления развития); 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. М.П. Цапенко: монография. Новосибирск: НГТУ, 2003. 286 с.
10. Арутюнов П.А. Теория и применение алгоритмических измерений: монография. М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
11. Грачев А.Ю., Карпанин О.В., Печерская Е.А. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных измерений биоимпеданса // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. Т. 21. № 1. С. 96–108.
12. Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka. A family of new generation miniaturized impedance analyzers for technical object diagnostics // *Metrol. Meas. Syst.* 2013. Vol. 20. N 1. P. 43–52.
5. Acácio Figueiredo Neto, Nelson Cárdenas Olivier, Erlon Rabelo Cordeiro et al. Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017, no. 143, pp. 222–226.
6. Chowdhury A., Bera T.K., Ghoshal D. Chakraborty B. Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy. *Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc.*, 2015, no. 1, pp. 97–99.
7. Aleinikov A.F., Mineev V.V. Metod otsenki zrelosti yagod bez ikh razrusheniya [Berry maturity assessment method without its damage]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 2, pp. 72–80. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-11. [In Russian].
8. Rodikov S.A. Primenenie peremennogo elektricheskogo toka dlya kontrolya kachestva yablok [The use of alternating current for apple quality control]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2009, no. 2, pp. 68–70. [In Russian].
9. Aleinikov A.F., Gridchin V.A., Tsapenko M. P. *Datchiki (perspektivnye napravleniya razvitiya)* [Sensors (prospective lines of development)]; 2-e izd., pererab. i dop. / pod red. M.P. Tsapenko. Novosibirsk: NGTU Publ., 2003, 286 p. [In Russian].
10. Arutyunov P.A. *Teoriya i primenenie algoritmicheskikh izmerenii*: [The theory and use of algorithmic measurements], M.: Energoatomizdat Publ., 1990, 256 p. [In Russian].
11. Grachev A.Yu., Karpanin O.V., Pecherskaya E.A. *Apparatno-programmnyi kompleks dlya avtomatizirovannykh izmerenii bioimpedansa* [Hardware and software complex for automated measurements of bioimpedance], *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, systems, networks in economics, engineering, nature and society], 2017, vol. 21, no. 1, pp. 96–108. [In Russian].
12. Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka. A family of new generation miniaturized impedance analyzers for technical object diagnostics. *Metrol. Meas. Syst.*, 2013, vol. 20, no. 1, pp. 43–52.

REFERENCES

1. Korotkii I.A. *Sibirskaya yagoda. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii nizkotemperaturnogo konservirovaniya*: [Siberian berries. Physical and chemical basis of low-temperature conservation technology]. Kemerovo: KemTIPP Publ., 2007, 146 p. [In Russian].
2. *Metodicheskoe i analiticheskoe obespechenie issledovaniy po sadovodstvu: monografiya* [Methodological and analytical support of research into horticulture]. Pod obshch. red. E.A. Egorova. Krasnodar: SKZNIISiV Publ., 2010, 299 p. [In Russian].
3. Rodikov S.A. *Metody i ustroystva analiza zrelosti yablok*: [Methods and devices for apple ripeness analysis]. M.: FIZMATLIT Publ., 2009, 216 p. [In Russian].
4. Gordeev A.S., Drozdov D.V. Pribor dlya prognozirovaniya kachestva [The device for fruit quality forecasting]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Journal of Michurinsk State Agrarian University]. 2006, no. 2, pp. 79–83. [In Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Минеев В.В.**, старший научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦА РАН, а/я 463. e-mail: mineevfti@yandex.ru

Алейников А.Ф., доктор технических наук, главный научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, профессор Новосибирского государственного технического университета; e-mail: fti2009@yandex.ru

Ёлкин О.В., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Морозов В.Б., научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

AUTHOR INFORMATION

✉ **Mineev V.V.**, Senior Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: mineevfti@yandex.ru

Aleinikov A.F., Doctor of Science in Engineering, Head Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Professor of Novosibirsk State Agrarian University; e-mail: fti2009@yandex.ru

Elkin O.V., Candidate of Science in Engineering, Leading Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Morozov V.B., Scientific Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Финансовая поддержка

Работа поддержана бюджетным проектом СФНЦА СО РАН № 0778-2018-0003.

*Дата поступления статьи 11.05.2018
Received by the editors 11.05.2018*

МЕТОД ОЦЕНКИ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ЛИСТА ПШЕНИЦЫ ПО СПЕКТРУ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ

¹Николаев С.В., ²Урбанович Е.А., ³Шаяпов В.Р., ¹Орлова Е.А., ¹Афонников Д.А.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения Российской академии наук

Новосибирск, Россия

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Новосибирск, Россия

³Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук

Новосибирск, Россия

Для цитирования: Николаев С.В., Урбанович Е.А., Шаяпов В.Р., Орлова Е.А., Афонников Д.А. Метод оценки спектра поглощения листа пшеницы по спектру диффузного отражения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т 48. № 5. С.68–76. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-9

For citation: Nikolaev S.V., Urbanovich E.A., Shayapov V.R., Orlova E.A., Afonnikov D.A. Metod otsenki spectra pogloshchenia lista pshenitsy po spektru diffusnogo otrazheniya [A method of evaluating the absorption spectrum of wheat leaf by the spectrum of diffuse reflection]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 68–76. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-9

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Для оценки состояния растений в ходе нормального роста и при развитии инфекций широко применяют методы спектрального анализа. В сочетании с математическими методами распознавания образов из спектров отражения конструируют информативные индексы, которые различаются для растений в разных изучаемых физиологических (и патофизиологических) состояниях. Такой подход предполагает настройку индексов для конкретных разделяемых состояний. Информация о содержании пигментов является более универсальной, позволяющей судить о состоянии растения на основе физиологических представлений независимо от решаемой задачи. В последнее время для получения информации о содержании пигментов развиваются методы отражательной спектроскопии. По спектру диффузного отражения производится оценка спектра поглощения на основе модели распространения света в дисперсной среде. Одной из моделей такого типа является модель Кубелки – Мунка. В случае большой оптической толщины образца, когда поток, проходящий через образец, на вы-

A METHOD OF EVALUATING THE ABSORPTION SPECTRUM OF WHEAT LEAF BY THE SPECTRUM OF DIFFUSE REFLECTION

¹Nikolaev S.V., ²Urbanovich E.A.,

³Shayapov V.R., ²Orlova E.A., ¹Afonnikov D.A.

¹The Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University

Novosibirsk, Russia

³Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Novosibirsk, Russia

Spectral analysis methods are widely used to assess the condition of plants during normal growth and the development of infections. In combination with mathematical methods of pattern recognition from reflection spectra, different indices are constructed, which vary for plants in different studied physiological (and pathophysiological) states. This approach involves setting up indices for specific shared states. Information about the content of pigments is more universal, and allows to talk about the state of the plant on the basis of physiological concepts, regardless of the task being solved. Methods of reflective spectroscopy have recently been developed to obtain information about the content of pigments. The absorption spectrum is estimated from the diffuse reflection spectrum based on the light propagation model in a disperse medium. One of the models of this type is the model Kubelka-Munch. In the case of the large optical thickness of the sample,

ходе практически равен нулю, можно применять упрощенную формулу, в которую не входит толщина образца. В остальных случаях необходимо эту толщину измерять, что для таких биологических объектов, как лист растения, проблематично из-за сложного рельефа листа. Приведены метод измерения и результаты изучения применимости формулы Кубелки – Мунка для получения спектров поглощения из спектров отражения листа пшеницы без измерения его толщины. Выведена формула для вычисления функции Кубелки – Мунка (отношения коэффициента поглощения к коэффициенту рассеяния) по двум измерениям коэффициентов диффузного рассеяния от образца, которые производятся с двумя подложками – с поглощающей и отражающей. Метод позволяет вычислить отношение коэффициента поглощения к коэффициенту рассеяния без измерения толщины исследуемого образца. Данный показатель можно использовать в качестве оценки спектра поглощения с некоторым коэффициентом пропорциональности. Описанный метод можно рекомендовать как наиболее универсальный и точный для определения отношения коэффициента поглощения к коэффициенту рассеяния листа в лабораторных условиях.

Ключевые слова: пшеница, грибная инфекция, спектральный анализ листьев, спектр диффузного отражения

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развиваются методы мониторинга посевов с целью прогнозирования динамики и планирования агротехнологических мероприятий для управления состоянием растений [1–3]. Для осуществления такого планирования разрабатывают и применяют модели нормальных и патологических процессов в растениях и посевах [4, 5]. Широкое внедрение динамического управления состоянием посевов требует развития технологии адаптации этих моделей в каждом конкретном случае, например, при мониторинге грибной инфекции в посевах и планировании мероприятий по борьбе с инфекцией.

Оптические (в том числе спектральные) методы измерений удовлетворяют требованиям их стандартизации и технологичности. Спектры отражения, полученные в полевых или в лабораторных условиях,

when the flow passing through the sample at the output is almost zero, one can use a simplified formula, which does not include the thickness of the sample. In other cases, it is necessary to measure this thickness, which is problematic for such biological objects as a plant leaf, because of the complex relief of the leaf surface. The article presents the measurement method and results of studying the applicability of the formula Kubelka-Munch for obtaining absorption spectra from reflection spectra of a wheat leaf without measuring its thickness. The formula is derived for calculation of Kubelka-Munch function (ratio of the absorption coefficient to the diffusion coefficient) by two measurements of diffusion scattering coefficients from the sample, which are performed with absorbing and reflecting substrates. The method allows to calculate the ratio of the absorption coefficient to the diffusion coefficient without measuring the thickness of the sample under study. This index can be used as an assessment criteria of the absorption spectrum with some proportionality factor. It is possible to recommend the method described as the most valid and accurate one for the determination of the absorption coefficient to the diffusion coefficient ratio of a leaf in the laboratory conditions.

Keywords: wheat, fungal infection, spectral analysis of leaves, diffuse reflection spectrum.

используют для распознавания стадий развития грибной инфекции в посевах пшеницы [2]. В основе такого применения лежат выделение дескрипторов из спектральных данных и построение решающих функций методами распознавания образов [6–8]. В то же время механистические модели развития гриба (например, ржавчины) на листе могут потребовать детальных экспериментальных данных по изменению состояния клеток растения, которое проявляется, например, в виде пятен хлороза. Эти и другие изменения в состоянии клеток сопряжены с изменением состава пигментов в локальных областях листа [9, 10].

Для получения локальных спектральных характеристик листовой пластинки можно применять многоканальную или гиперспектральную съемку [11]. Однако для извлечения данных о спектрах поглощения ткани листовой пластинки (которые дают инфор-

мацию о химическом составе среды) необходимо применить модельные представления о происхождении детектируемого прибором диффузно рассеянного от листа излучения. Одной из ранних теорий рассеяния света является модель Кубелки – Мунка [12], которая используется как в исходной форме, так и в виде модификаций [13–15].

Цель исследования – разработать метод применения модели Кубелки – Мунка для расчета спектра поглощения материала образца произвольной толщины без измерения его толщины.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Растения пшеницы сорта Родина выращивались при естественном освещении в культуральных сосудах при температуре 18–23 °С в течение 15 дней. Непосредственно перед измерением вырезали фрагмент длиной 0,5–0,7 см на расстоянии 3–4 см от начала листовой пластинки.

Модель Кубелки – Мунка. Рассмотрим систему, состоящую из дисперсионной среды высотой X с пигментными частицами, в которой распространяется электромагнитная волна, падающая на верхнюю границу, и подложки с коэффициентом отражения

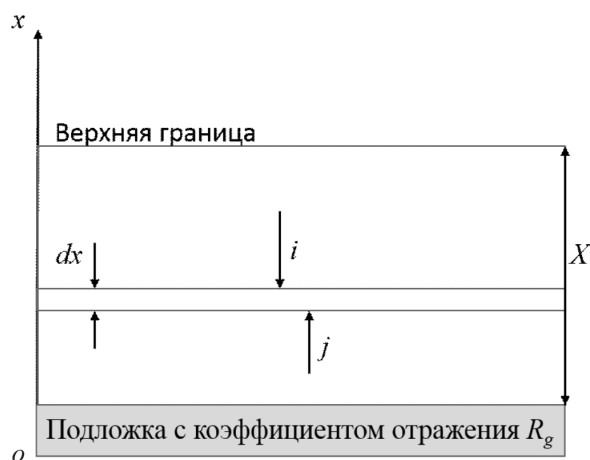


Рис. 1. Схема к математической модели Кубелки – Мунка:

j, i – световые потоки по оси ox и против оси ox соответственно

Fig. 1. Scheme to the mathematical model Kubelka-Munch:

j, i – light flows along the axis ox and against the axis ox , respectively

R_g (см. рис. 1). Предположим, что действие пигментных красителей приводит к полному рассеянию светового потока. Пусть толщина $X < l, w$, где l, w – характерные длина и ширина среды, тогда мы можем пренебречь краевыми эффектами. В таких предположениях можем представить весь световой поток, распространяющийся в светорассеивающем слое, двумя перпендикулярными к границам составляющими: i – распространяющаяся против оси ox , и j – по оси ox .

Рассмотрим в среде элементарный слой толщиной dx . Пусть K – коэффициент поглощения в элементарном объеме, S – коэффициент рассеяния. K и S будем считать постоянными во всем объеме. Следующие дифференциальные уравнения на изменение потоков i и j в элементарном слое можем записать [16]:

$$dj = -(S + K) \cdot j \cdot dx + S \cdot i \cdot dx;$$

$$-di = -(S + K) \cdot i \cdot dx + S \cdot j \cdot dx.$$

Кубелка [17] получил точное решение данной линейной системы уравнений с граничным условием $\frac{j(0)}{i(0)} = R_g$:

$$R(x) = \frac{1 - R_g \cdot (a - b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot x))}{a - R_g + b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot x)}, \quad (1)$$

где $R(x) = \frac{j(x)}{i(x)}$ – коэффициент отражения на расстоянии x от подложки;

$$a = 1 + \frac{K}{S}, \quad b = \sqrt{a^2 - 1}.$$

В случае, когда толщина среды стремится к бесконечности (приближение толстой среды), уравнение (1) приобретает вид

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2 \cdot R_\infty}, \quad (2)$$

где R_∞ – коэффициент отражения средой при достаточно большой толщине слоя.

Методика измерений для оценки величины $\frac{K}{S}$ листа. Для вычисления $\frac{K}{S}$ листа проводили измерения двух спектров отражения от листа, помещаемого сначала

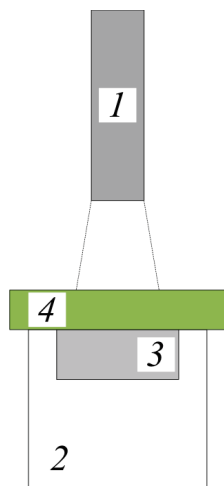


Рис. 2. Схема экспериментальной установки
Fig. 2. Scheme of the trial installation

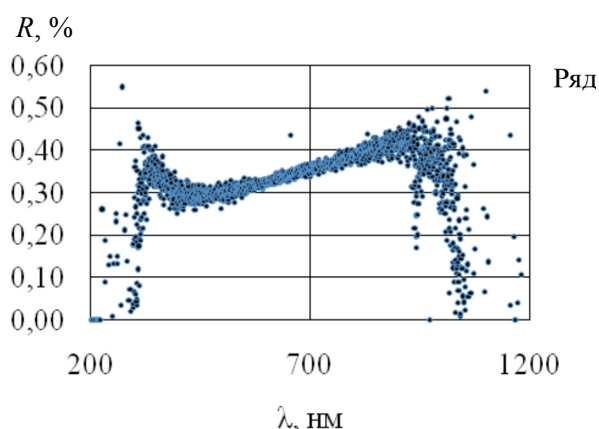


Рис. 3. Спектр отражения порошка
из углеродного материала
Fig. 3. Reflection spectrum of the powder
from the carbon-base material

на отражающую, затем на поглощающую подложку. Экспериментальная установка (см. рис. 2) состоит из зонда отражения / обратного рассеяния 1, расположенного над кюветой 2, в которой находятся подложка 3 и листовая пластинка 4. В торце зонда 1 по окружности расположены шесть оптоволокон, соединенных с осветителем, состоящим из галогеновой и дейтериевой ламп. В центре торца зонда – оптоволоконно, идущее к спектрометру «Колибри-2» (ВМК «Оптоэлектроника», Россия). Выходной спектр записывается на ПК. Для калибровки использовали уплотненный порошок

сульфата бария (BaSO_4), обладающий 98%-м диффузионным отражением в видимом диапазоне. Его же использовали в качестве абсолютно отражающей подложки. В качестве абсолютно поглощающей подложки взяли уплотненный порошок из углеродного материала (УМ). Диффузное отражение данного порошка не превышает 0,5% (см. рис. 3). Можно считать, что $R_g = 0$ для УМ с вносимой погрешностью 0,5%. Полученные спектры диффузного отражения использовали для вычисления $\frac{K}{S}$ листа по формуле, вывод которой рассмотрен ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формула для оценки спектра поглощения тонкой среды без измерений ее толщины. По описанной выше методике измерим два значения коэффициентов отражения R_1 и R_2 на верхней границе ($x = X$), соответствующие разным подложкам с коэффициентами отражения R_{g1} и R_{g2} . Получим систему двух линейных уравнений:

$$R_1 = \frac{1 - R_{g1}(a - b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot X))}{a - R_{g1} + b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot X)},$$

$$R_2 = \frac{1 - R_{g2}(a - b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot X))}{a - R_{g2} + b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot X)}.$$

Выразив $b \cdot \text{cth}(b \cdot S \cdot X)$ из первого уравнения и подставив во второе, придем в итоге к уравнению

$$\frac{K}{S} = \frac{(R_1 - R_2)(1 + R_{g1} \cdot R_{g2}) + (1 + R_1 \cdot R_2)(R_{g2} - R_{g1})}{2 \cdot (R_1 \cdot R_{g2} - R_2 \cdot R_{g1})} - 1, \quad (3)$$

в котором не используется никаких допущений, кроме применимости формулы (1).

Поскольку в первом измерении $R_{g1} = 0$ – абсолютно поглощающая подложка, во втором $R_{g2} = 1$ – абсолютно отражающая подложка, формула (3) принимает вид

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_1) \cdot (1 - R_2)}{2 \cdot R_1}. \quad (4)$$

Для применения формулы (4) необходимо соблюдения следующие условия измерений при разных подложках: 1) спектр должен

сниматься с одной и той же области листа; 2) расстояние от зонда до листа должно оставаться постоянным.

Следует отметить, что формулы (2) и (4) позволяют вычислить отношение коэффициента поглощения K к коэффициенту рассеяния S , которое называется функцией Кубелки – Мунка. При условии независимости S от длины волны функция Кубелки – Мунка пропорциональна спектру поглощения. Условие независимости S от длины волны выполняется, когда размер рассеивающих частиц значительно превышает длину волны (обсуждение этого вопроса можно найти в работе [18]).

Сравнение оценок спектров отражения / поглощения листа пшеницы, полученных разными методами. Поскольку условия 1 и 2 для применения формулы (4) сложно осуществить в измерительном эксперименте при смене подложек, изучены погрешности, вносимые в оценку функции Кубелки – Мунка по формуле (2) при использовании черной подложки и «свободного образца», когда образец не лежит на подложке. Последнее близко к ситуации дистанционного зондирования листа в посеве. Измерения спектров отражения листа проводили по следующей схеме: три измерения с черной подложкой, три – с белой и

три измерения «свободного листа», когда лист закреплялся на расстоянии 10 см над столом. При этом расстояние до зонда такое же, как при измерении с подложками. На рис. 4 приведены усредненные коэффициенты отражения для данных измерений. Спектры отражения листа с черной подложкой (серая линия) и без подложки, т.е. «свободного листа» (синяя линия), совпадают, что естественно, так как прошедший сквозь лист свет рассеивается и поглощается окружающими телами.

Затем вычисляли функцию $\frac{K}{S}$ (см. рис. 5) по спектрам диффузного отражения от листа с поглощающей подложкой (черная, УМ) и отражающей (белая, BaSO_4): a (серая линия) – функция, посчитанная по спектрам с черной и белой подложками по формуле (4); b (черная) – по спектру с черной подложкой по формуле (2); v (синяя) – по спектру с белой подложкой по формуле (2). Видно, что оценка спектра поглощения листа, рассчитанная по формуле (2) из спектра отражения с поглощающей подложкой, дает хорошее совпадение с оценкой по формуле (4), в то время как оценка спектра поглощения с отражающей подложкой дает существенное расхождение. Относительные величины этих отклонений приведены на рис. 6.

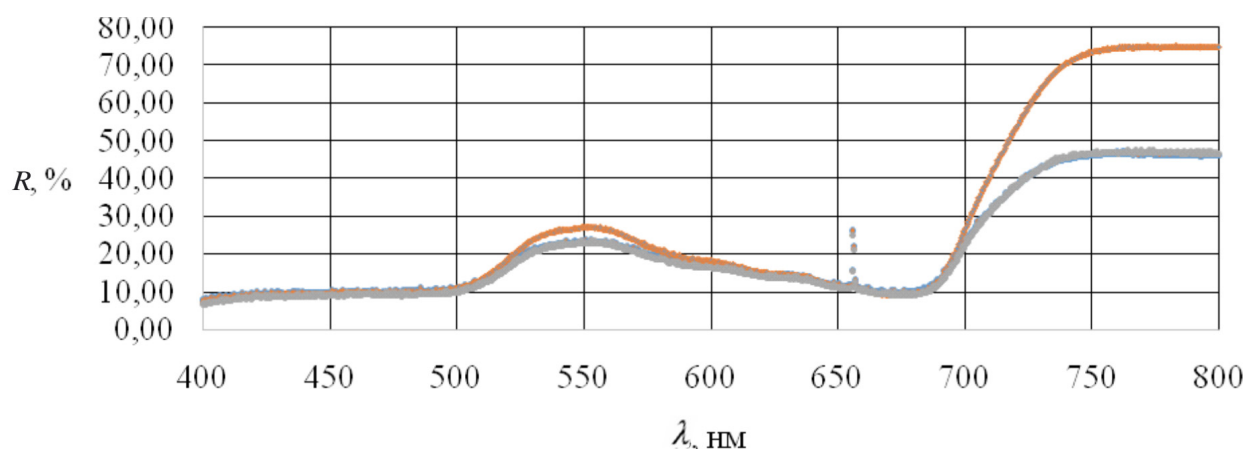


Рис. 4. Зависимость коэффициента диффузного отражения листа растения от длины волны: Серая линия – с черной подложкой, синяя – отражение листа без подложки, оранжевая – с белой подложкой

Fig. 4. Dependence of the coefficient of a plant leaf diffuse reflection on the wavelength
Grey line – with black substrate; blue line – leaf reflection without substrate; orange line – with white substrate

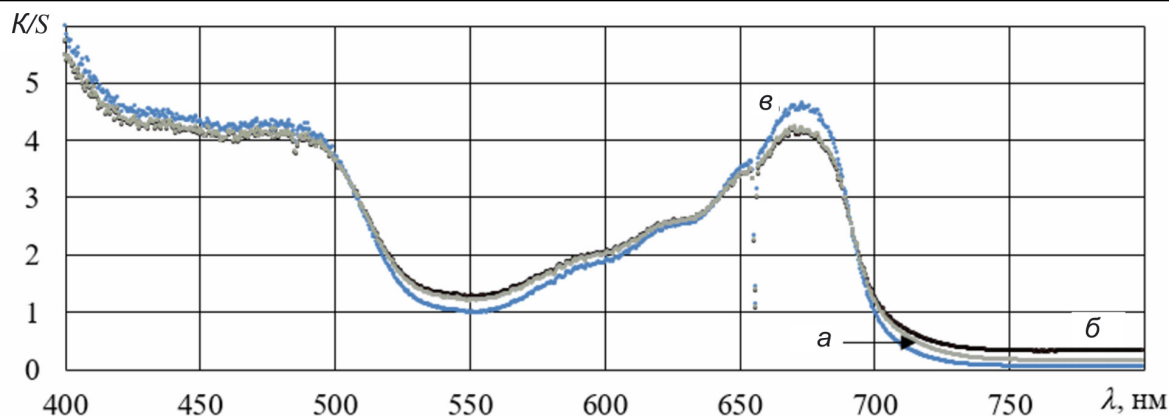


Рис. 5. Функция $\frac{K}{S}$ для листа растения:

a – по спектрам с черной и белой подложками по формуле (4);
 $б$ – по спектру с черной подложкой по формуле (2); $в$ – по спектру с белой подложкой по формуле (2)

Fig. 5. Function $\frac{K}{S}$ for a plant leaf:

a – across spectra with black and white substrates by formula (4); $б$ – across spectrum with black substrate by formula (2); $в$ – across spectrum with white substrate by formula (2)

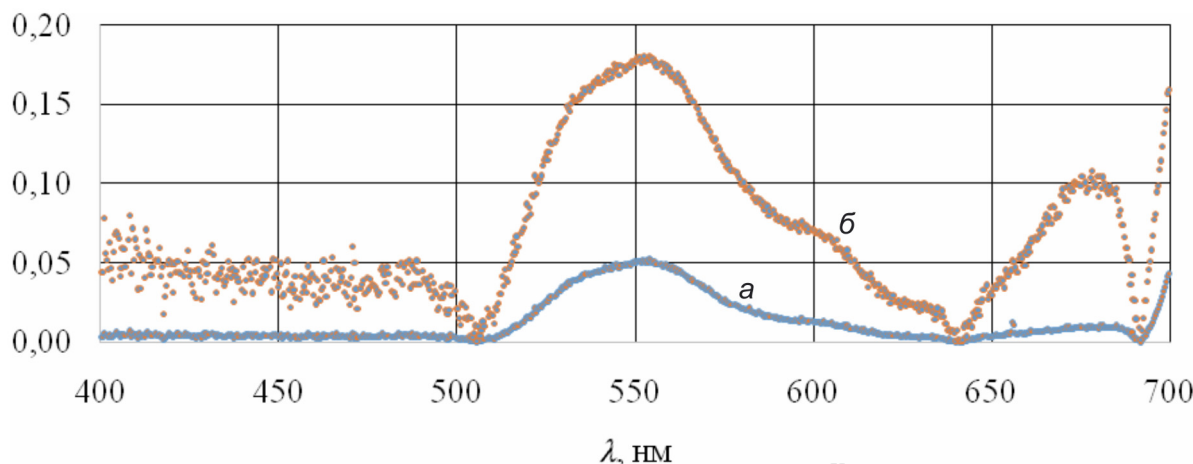


Рис. 6. Спектры относительного отклонения оценки $\frac{K}{S}$ по формуле (2) от оценки по формуле (4) для листа растения:

a – черная подложка; $б$ – белая

Fig. 6. Spectra of relative deviation of assessment $\frac{K}{S}$ by formula (2) from the assessment by formula (4) for a leaf plant:

a – black substrate e; $б$ – white substrat

ВЫВОДЫ

Выведена формула (4) для вычисления функции Кубелки – Мунка (отношения коэффициента поглощения к коэффициенту рассеяния $\frac{K}{S}$) по двум измерениям коэффициентов диффузного рассеяния от образца, которые производятся с двумя разными подложками – одно с поглощающей, другое с отражающей. Метод позволяет вычислить $\frac{K}{S}$ без измерения толщины исследуемого

образца. Величина $\frac{K}{S}$ может использоваться как оценка спектра поглощения с некоторым коэффициентом пропорциональности. Данный метод можно рекомендовать как наиболее универсальный и точный для определения величины $\frac{K}{S}$ листа в лабораторных условиях.

Спектрофотометрические исследования листа на белой подложке вносят существенную погрешность в спектры диффузного отражения и, как следствие, в величину

$\frac{K}{S}$. Погрешность, связанная с проникновением в измеренный сигнал излучения, отраженного от любой подложки, всегда будет иметь место, поэтому измерения, проведенные без учета отражательных свойств подложки, будут некорректными. Вычисления $\frac{K}{S}$ для листа пшеницы по упрощенной процедуре с использованием формулы (2) дают удовлетворительный результат при использовании поглощающей подложки или геометрии «свободного листа» (расхождения в видимом диапазоне длин волн от 400 до 700 нм составили менее 5%). Этот факт позволяет применять различные модификации геометрии «свободного листа» при получении спектров диффузного отражения непосредственно в посеве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bajwa S.G., Rupe J.C., Mason J. Soybean disease monitoring with leaf reflectance // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. N 2. P. 127.
2. Bravo C., Moshou D., West J., McCartney A., Ramon H. Early Disease Detection in Wheat Fields Using Spectral Reflectance // Biosystems Engineering. 2003. Vol. 84. N 2. P. 137–145.
3. Pan Z., Li X., Yang X.B., Andrade D., Xue L., McKinney N. Prediction of Plant Diseases through Modelling and Monitoring Airborne Pathogen Dispersal // Plant Sciences Reviews. 2010. CABI 191.
4. Audsley E., Milne A., Paveley N. A foliar disease model for use in wheat disease management decision support systems // Annals of Applied Biology. 2005. Vol. 147. N 2. P. 161–172.
5. Торнли Д.Г.М. Математические модели в физиологии растений. Киев: Наукова думка, 1982.
6. Mahlein A.K., Rumpf T., Welke P., Dehne H.W., Plumer L., Steiner U., Oerke E.C. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases // Remote Sensing of Environment. 2013. Vol. 128. P. 21–30.
7. Ashourloo D., Mobasheri M.R., Huete A. Developing two spectral disease indices for detection of wheat leaf rust (Puccinia triticina) // Remote Sensing. 2014. Vol. 6. N 6. P. 4723–4740.
8. Chemura A., Mutanga O., Sibanda M., Chidoko P. Machine learning prediction of coffee rust severity on leaves using spectroradiometer data // Tropical Plant Pathology. 2018. Vol. 43. N 2. P. 117–127.
9. Khan A.J., Deadman M.L., Al-Maqbali Y.M., Al-Sabahi J., Srikandakumar A., Rizvi S.G. Biochemical changes in sorghum leaves infected with leaf spot pathogen, Drechslera sorghicola // The Plant Pathology Journal. 2001. Vol. 17. N 6. P. 342–346.
10. Robert C., Bancal M.O., Ney B., Lannou C. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status // New Phytologist. 2005. Vol. 165. N 1. P. 227–241.
11. Bauriegel E., Giebel A., Geyer M., Schmidt U., Herppich W.B. Early detection of Fusarium infection in wheat using hyper-spectral imaging // Computers and Electronics in Agriculture. 2011. Vol. 75. N 2. P. 304–312.
12. Kubelka P., Munk F. An article on optics of paint layers // Zeitschrift für Technische Physik. 1931. Vol. 12. P. 593–601.
13. Al Makdessi N., Jean P.A., Ecartot M., Gorretta N., Rabatel G., Roumet P. How plant structure impacts the biochemical leaf traits assessment from in-field hyperspectral images: A simulation study based on light propagation modeling in 3D virtual wheat scenes // Field Crops Research. 2017. Vol. 205. P. 95–105.
14. Xu K., Lin Y., Wei X., Ye H. Biomimetic Material Simulating Solar Spectrum Reflection Characteristics of Yellow Leaf // Journal of Bionic Engineering. 2018. Vol. 15. N 4. P. 741–750.
15. Al Makdessi N., Ecartot M., Roumet P., Rabatel G. A spectral correction method for multi-scattering effects in close range hyperspectral imagery of vegetation scenes: application to nitrogen content assessment in wheat // Precision Agriculture. 2018. P. 1–23.
16. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / пер. с англ. М: Мир, 1978. 592 с.
17. Kubelka P. New contributions to the optics of intensely light-scattering materials. Part I // Josa. 1948. Vol. 38. N 5. P. 448–457.
18. Torrent J.O.S.É., Barron V. Diffuse reflectance spectroscopy // Methods of soil analysis. 2008. Part 5. P. 367–387.

REFERENCES

1. Bajwa S.G., Rupe J.C., Mason J. Soybean disease monitoring with leaf reflectance. *Remote Sensin*, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 127.
2. Bravo C., Moshou D., West J., McCartney A., Ramon H. Early Disease Detection in Wheat Fields Using Spectral Reflectance. *Biosystems Engineering*, 2003, vol. 84, no. 2, pp. 137–145.
3. Pan Z., Li X., Yang X.B., Andrade D., Xue L., McKinney N. Prediction of Plant Diseases through Modelling and Monitoring Airborne Pathogen Dispersal. *Plant Sciences Reviews*, 2010. CABI 191.
4. Audsley E., Milne A., Paveley N. A foliar disease model for use in wheat disease management decision support systems / *Annals of Applied Biology*. 2005, vol. 147, no. 2, pp. 161–172.
5. Tornli D.G.M. Matematicheskie modeli v fiziologii rastenii [Mathematical models in plant physiology]. Kiev: *Naukova dumka* [Scientific thought], 1982.
6. Mahlein A.K., Rumpf T., Welke P., Dehne H. W., Plumer L., Steiner U., Oerke E.C. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*, 2013, vol. 128, pp. 21–30.
7. Ashourloo D., Mobasheri M.R., Huete A. Developing two spectral disease indices for detection of wheat leaf rust (*Puccinia triticina*). *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, no. 6, pp. 4723–4740.
8. Chemura A., Mutanga O., Sibanda M., Chidoko P. Machine learning prediction of coffee rust severity on leaves using spectroradiometer data. *Tropical Plant Pathology*, 2018, vol. 43, no. 2, pp. 117–127.
9. Khan A.J., Deadman M.L., Al-Maqbali Y.M., Al-Sabahi J., Srikandakumar A., Rizvi S.G. Biochemical changes in sorghum leaves infected with leaf spot pathogen, *Drechslera sorghicola*. *The Plant Pathology Journal*, 2001, vol. 17, no. 6, pp. 342–346.
10. Robert C., Bancal M.O., Ney B., Lannou C. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. *New Phytologist*, 2005, vol. 165, no. 1, pp. 227–241.
11. Bauriegel E., Giebel A., Geyer M., Schmidt U., Herppich W.B. Early detection of Fusarium infection in wheat using hyper-spectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, vol. 75, no. 2, pp. 304–312.
12. Kubelka P., Munk F. An article on optics of paint layers. *Zeitschrift für Technische Physik*, 1931, vol. 12, pp. 593–601.
13. Al Makdessi N., Jean P.A., Ecartot M., Gorretta N., Rabatel G., Roumet P. How plant structure impacts the biochemical leaf traits assessment from in-field hyperspectral images: A simulation study based on light propagation modeling in 3D virtual wheat scenes. *Field Crops Research*, 2017, vol. 205, pp. 95–105.
14. Xu K., Lin Y., Wei X., Ye H. Biomimetic Material Simulating Solar Spectrum Reflection Characteristics of Yellow Leaf. *Journal of Bionic Engineering*, 2018, vol. 15, no. 4, pp. 741–750.
15. Al Makdessi N., Ecartot M., Roumet P., Rabatel G. A spectral correction method for multi-scattering effects in close range hyperspectral imagery of vegetation scenes: application to nitrogen content assessment in wheat. *Precision Agriculture*, 2018, pp. 1–23.
16. Dzhabd D., Vyshetski G. *Tsvet v nauke i tekhnike* [Blossom in science and engineering]. per. s angl. M: Mir, 1978. 592 p.
17. Kubelka P. New contributions to the optics of intensely light-scattering materials. Part I // *Josa*, 1948, vol. 38, no. 5, pp. 448–457.
18. Torrent J.O.S.E., Barron V. Diffuse reflectance spectroscopy. *Methods of soil analysis*, 2008, part 5. pp. 367–387.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Николаев С.В., кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук

Урбанович Е.А., студент, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Шаяпов В.Р., кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук

Орлова Е.А., ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук

✉ **Афонников Д.А.**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук; **адрес для переписки:** Россия, 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 10, e-mail: ada@bionet.nsc.ru

Финансовая поддержка

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 гг. по проекту «Разработка цифровых технологий раннего обнаружения и локализации поражений посевов сельскохозяйственных культур № 324-2018-0020».

AUTHOR INFORMATION

Nikolaev S.V., Candidate of Science in Biology, Researcher of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Urbanovich E.A., student of the Novosibirsk State University

Shayapov V.R., Candidate of Science in Physics and Maths, Researcher of the Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Orlova E.A., Lead Researcher of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

✉ **Afonnikov D.A.**, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, address: 10, Academician M.A. Lavrentiev avenue, Novosibirsk, 630090, Russia; e-mail: ada@bionet.nsc.ru

*Дата поступления статьи 05.08.2018
Received by the editors 05.08.2018*

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНДЕКСА ВОДНОГО СТРЕССА

Усолюдев С.Ф., Нестяк В.С.

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологии Российской академии наук
Новосибирск, Россия*

Для цитирования: Усолюдев С.Ф., Нестяк В.С. Применение фитомониторинга для оценки индекса водного стресса // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 77-85. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-10

For citation: Usoltsev S.F., Nestyak V.S. Primenenie fitomonitoringa dlya otsenki indeksa vodnogo stressa [Application of phytomonitoring for estimating the water stress index]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 77-85.. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-10

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Выращивание теплолюбивых овощных культур в условиях Сибири возможно только при условии приведения лимитирующих факторов среды их обитания (обеспеченность теплом и влагой) в зону оптимума. Для этого требуется непрерывный фитомониторинг характеристик среды обитания и показателей состояния растений, выполняемый фитомонитором с комплектом датчиков. На основе результатов фитомониторинга осуществляется управление производственным процессом выращиваемых культур в режиме реального времени путем проведения технологических операций, направленных на изменение лимитирующего фактора. Разработана схема управления производственным процессом овощных культур в укрытиях. Для повышения теплообеспеченности предлагается применение защитных экранов с автоматическим управлением приточно-вытяжной вентиляцией. За основу принята схема автоматического управления с обратными связями. Автоматическое управление вентиляцией осуществляется путем измерения температуры воздуха внутри укрытия и формирования сигнала на включение привода механизма. Обеспеченность растений водой оценивается величиной индекса водного стресса, рассчитываемого на основе измерений температуры влажности воздуха и температуры листьев растений. Разработан алгоритм расчета индекса водного стресса, проведены эксперименты по измерению характеристик среды обитания и показателей состояния растений в лабораторно-полевых условиях. Получена характеристика изменения индекса водного стресса растений внутри укрытия и снаружи. На основании величины индекса водного стресса сделан вывод о достаточном обеспечении растений водой. Результаты экс-

APPLICATION OF PHYTOMONITORING FOR ESTIMATING THE WATER STRESS INDEX

Usoltsev S.F., Nestyak V.S.

*Siberian Federal Research Centre
of Agro-BioTechnologies of the
Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia*

Cultivation of thermophilic vegetable crops in Siberian conditions is possible only if the limiting environmental factors of their habitat (heat and moisture availability) are brought to the optimum zone. This requires continuous phytomonitoring of habitat characteristics and plant status indicators performed by a phytomonitor with a set of sensors. Based on the results of phytomonitoring, the production process of the crops to be grown is managed in the real-time mode by conducting technological operations aimed at changing the limiting factor. A scheme has been developed for managing the production process of vegetable crops in canopies. To improve the heat supply, it is proposed to use protective screens with automatic control of inflow-and-exhaust ventilation. The basis is the automatic control scheme with feedbacks. Automatic ventilation control is carried out by measuring the air temperature inside the canopy and forming a signal to activate the mechanism drive. The water availability of plants is estimated by the value of the water stress index, calculated on the basis of measurements of air temperature and humidity and leaf temperature. An algorithm for calculating the water stress index has been developed and experiments have been conducted to measure the characteristics of the habitat and indicators of the state of plants in laboratory and field conditions. The characteristic of changes in the water stress index of plants inside and outside the canopy was obtained. Based on the value of the water stress index, it was concluded that the plants are adequately supplied with water. The

периментов показали высокую надежность фитомонитора и комплекта датчиков. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование системы управления производственным процессом с применением фитомониторинга в режиме реального времени на основе методики расчета эвапотранспирации.

Ключевые слова: экраны, производственный процесс, лимитирующий фактор, влагообеспеченность, фитомониторинг, приборное обеспечение

ВВЕДЕНИЕ

Получение высоких урожаев основано на удовлетворении потребности растений в жизненно важных факторах внешней среды: свете, тепле, воде, воздухе, минеральном питании [1–4]. Разработка технических средств и технологических процессов, обеспечивающих рациональное сочетание управляемых факторов среды обитания, необходимых для получения заданного урожая, является основным условием разработки современных технологий [5–9]. Биологические процессы, протекающие в растениях, непрерывны, во многом зависят от сортовых особенностей, фазы развития и других биологических параметров. В связи с этим факторы, лимитирующие производственный процесс, неизвестны в текущий момент времени. В настоящее время разработан ряд моделей управления производственным процессом [10, 11], в основе которых лежит мониторинг показателей, характеризующих состояние растений и среды их обитания в режиме реального времени [12–14].

Для управления температурой воздуха как лимитирующим фактором в условиях Сибири в Сибирском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства СФНЦА РАН разработан способ создания условий для выращивания теплолюбивых овощных культур в открытом грунте и устройство для его реализации. В основе разработки лежит принцип дуализма (растения одновременно находятся и под укрытием, и в открытом грунте). Это обеспечивает повышение суммы активных

results of the experiments showed high reliability of the phytomonitor and a set of sensors. Further studies will focus on improving the production process management system using phytomonitoring in real time based on the methodology of evapotranspiration calculation.

Keywords: screens, production process, limiting factor, moisture availability, phytomonitoring, instrumentation support

температур под укрытием, защиту растений от негативных воздействий открытого грунта (ливни, град, кратковременные заморозки, перегрев растений, техногенные выбросы и др.), продлевает период вегетации, повышает производственный процесс – увеличивает урожайность томатов в 2–3 раза по сравнению с открытым грунтом. При этом обеспечивается постоянный доступ к растениям и возможность применения в укрытиях средств малой механизации [15].

При возделывании томатов в укрытиях экранного типа информационные технологии можно применять как для автоматического управления параметрами вентиляции, так и для принятия решения о проведении полива, подкормки растений и других технологических операций.

Вариант схемы управления производственным процессом выращивания овощей томатной группы в открытом грунте с применением защитных экранов приведен на рис. 1. За основу принята схема автоматического управления с обратными связями. Первый цикл обратной связи предназначен для автоматического управления вентиляцией на основе измерения температуры воздуха внутри укрытия. Данная информация поступает в блок управления, который формирует команды на включение механизма открытия вентиляции.

Второй цикл обратной связи предназначен для принятия решения о необходимости выполнения технологических операций на основе информации о состоянии растений и среды их обитания, получаемой в режиме

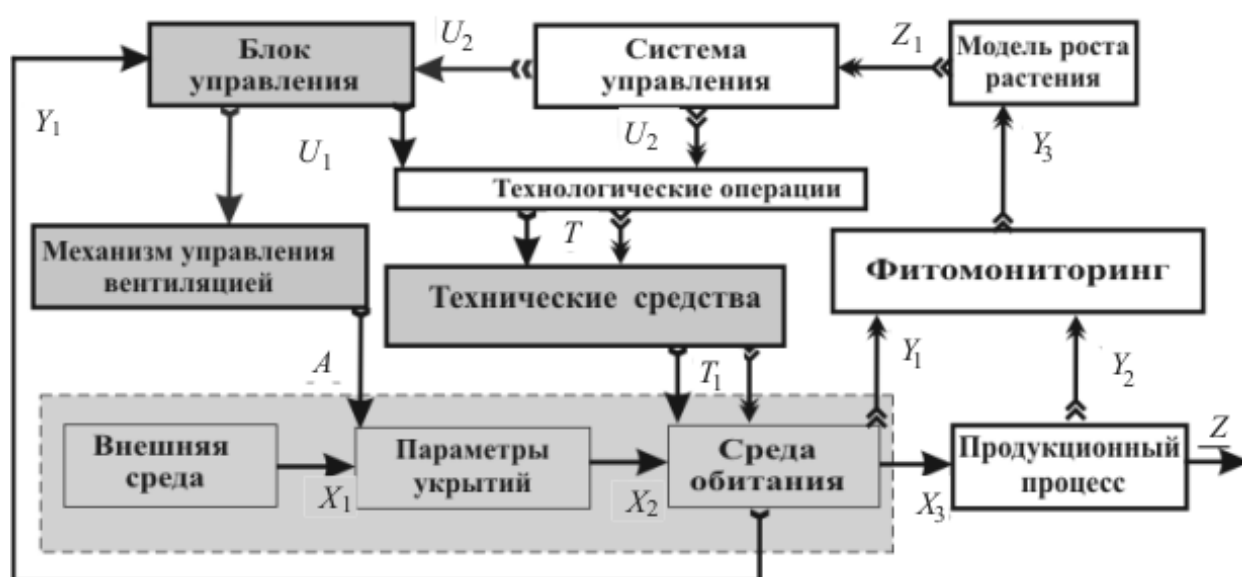


Рис. 1. Схема управления производственным процессом овощных культур томатной группы в укрытиях экранного типа:

X_1 – воздействие внешней среды; X_2 – воздействие укрытий на среду обитания; X_3 – воздействие среды обитания на производственный процесс; Y_1 – характеристики среды обитания; Y_2 – характеристики производственного процесса; Y_3 – измеренные параметры; U_1, U_2 – управляющие воздействия; A_1 – воздействие исполнительного механизма на параметры укрытий; T_1 – влияние технологических операций на параметры укрытий; T_2 – влияние технологических операций на характеристики среды обитания; Z – показатель эффективности производственного процесса; Z_1 – расчетный показатель состояния растений и среды их обитания

Fig. 1. The scheme of production process management of tomato group vegetable crops in screen type canopies:

X_1 – effect of the eternal environment; X_2 – effect of canopies on the habitat; X_3 – effect of the habitat on production process; Y_1 – habitat characteristics; Y_2 – characteristics of production process; Y_3 – measured parameters; U_1, U_2 – controlling effects; A_1 – effect of the actuating mechanism on canopy parameters; T_1 – effect of technological operations on canopy parameters; T_2 – effect of technological operations on habitat characteristics; Z – efficiency index of production process; Z_1 – estimated index of the state of plants and their habitat

реального времени от комплекта датчиков. Модель роста растений должна выполнять расчет параметров, необходимых для определения лимитирующих факторов. К таким параметрам могут относиться индекс водного стресса, показатели содержания в почве азота, фосфора и т.д.

Совершенствование технологий выращивания томатов с применением защитных экранов должно быть направлено на управление производственным процессом растений путем непосредственного технологического воздействия и на другие характеристики среды обитания внутри укрытия [16]. Информация о состоянии растений и среды их обитания в режиме реального времени может быть получена в цифровом форма-

те. Практическое применение фитомониторинга для выявления стрессовых состояний растений и оптимизации режимов их выращивания вполне реализуемо и открывает новые возможности повышения эффективности управления производственным процессом.

Цель исследования – повысить эффективность выращивания томатов в укрытиях экранного типа за счет обеспечения их необходимыми ресурсами на различных этапах жизненного цикла в режиме реального времени.

Задачи исследования – экспериментальная проверка возможности мониторинга влагообеспеченности и разработка алгоритма расчета индекса водного стресса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наиболее сложная задача, которую необходимо решать в конкретных условиях при выращивании растений, – определение фактора внешней среды, находящегося в данное время в минимуме. Технологические воздействия на него позволяют повышать урожайность при наименьших затратах труда и средств.

В лесостепной зоне Западной Сибири для теплолюбивых овощных культур в открытом грунте на первое место выходит фактор теплообеспеченности. На втором месте находится влагообеспеченность, особенно в период приживаемости рассады и интенсивного роста плодов, на третьем – наличие питательных веществ, четвертом – наличие солнечной радиации, которой в зоне достаточно для развития растений. В соответствии с данным ранжированием факторов сле-

дует подбирать технологические процессы и комплексы технических средств, необходимые для приближения лимитирующих факторов к зоне оптимума.

Исследования по повышению теплообеспеченности растений и их защиты от негативных факторов открытого грунта проведены нами ранее, поэтому на первый план выходит проблема контроля и управления влагообеспеченностью растений. Критерием необходимости полива может быть величина индекса водного стресса, который определяется на основе измерений характеристик среды обитания и состояния растений. С появлением приборов, позволяющих определить фактическую температуру листьев, появилась возможность оперативного определения этого показателя по эмпирическому методу Идсо и Джексона [17].

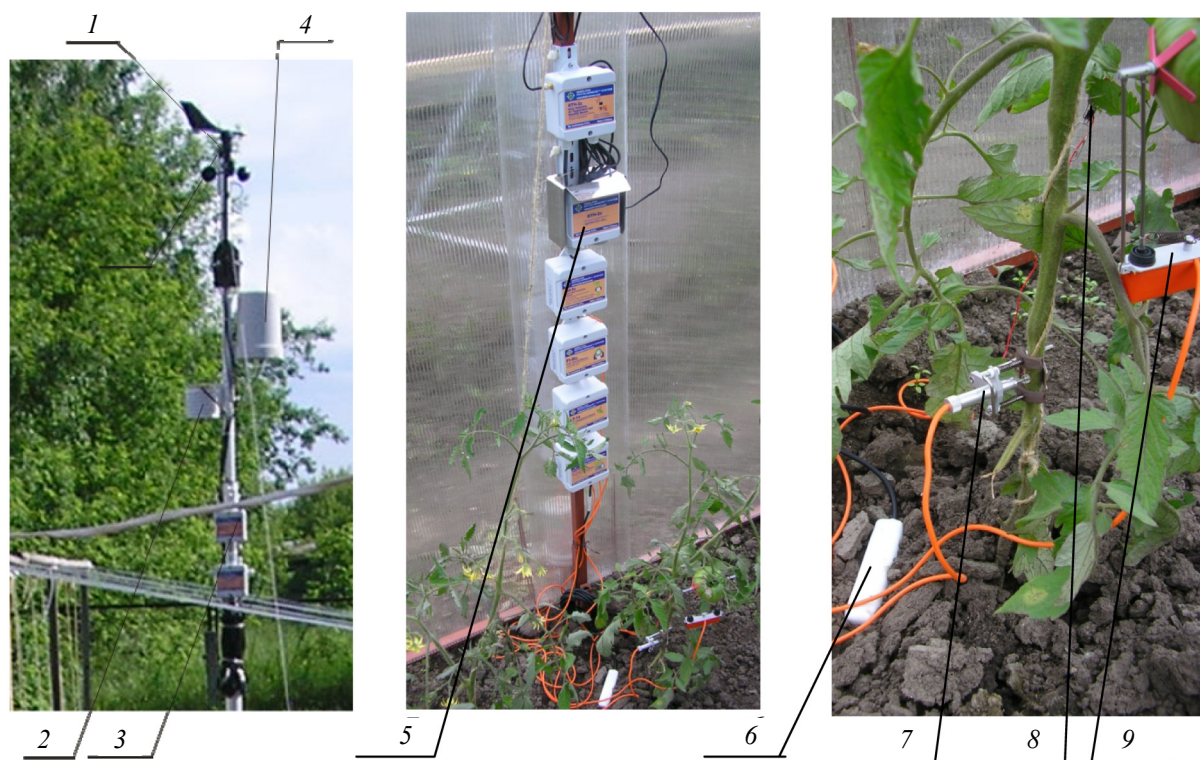


Рис. 2. Метеостанция и датчики для снятия параметров среды обитания и растения:

- 1 – датчик направления и скорости ветра; 2 – датчик температуры и влажности воздуха, 3 – радиомодуль; 4 – датчик дождя; 5 – аспирационный датчик температуры и влажности воздуха; 6 – датчик параметров почвы; 7 – датчик диаметра стебля; 8 – датчик температуры листа; 9 – датчик диаметра плода

Fig. 2. Weather station and sensors for metering parameters of the habitat and a plant:

- 1 – air temperature and humidity sensor; 2 – wind direction and speed sensor; 3 – radio module; 4 – rain sensor; 5 – aspiration sensor of air temperature and humidity; 6 – soil parameters sensor; 7 – stem diameter sensor; 8 – leaf temperature sensor; 9 – fruit diameter sensor

Лабораторно-полевой эксперимент проведен с 10 июня по 20 сентября 2018г. на участке открытого грунта при экспериментальной теплице. Для проведения эксперимента изготовлена секция крупногабаритного укрытия экранного типа. Рядом с укрытием заложен контрольный вариант посадок. Внутри укрытий и на контроле высажены одинаковые по возрасту и состоянию крупноплодные томаты.

Состояние атмосферного воздуха вне укрытий определяли при помощи автоматической метеостанции DWS-11z, в состав которой входят радиомодуль с блоком питания, а также набор датчиков: температуры и влажности воздуха, дождя, пиранометр, датчик направления и скорости ветра. Показатели состояния воздуха внутри укрытия

измеряли аспирационным датчиком температуры и влажности воздуха RTH-2z в комплекте с радиомодулем, блоком питания и пиранометром B12-R. Для оценки состояния почвы и растений внутри укрытия и снаружи использовали одинаковые наборы датчиков с радиомодулями и питанием от батареек: датчик изменений диаметра стебля SD-5z, датчик температуры листа LT-4z, датчик роста плода FI-Mz и почвенный датчик SMTE-3z (см. рис. 2)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Алгоритм расчета индексов водного стресса разработан и реализован в приложении Excel. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 3.

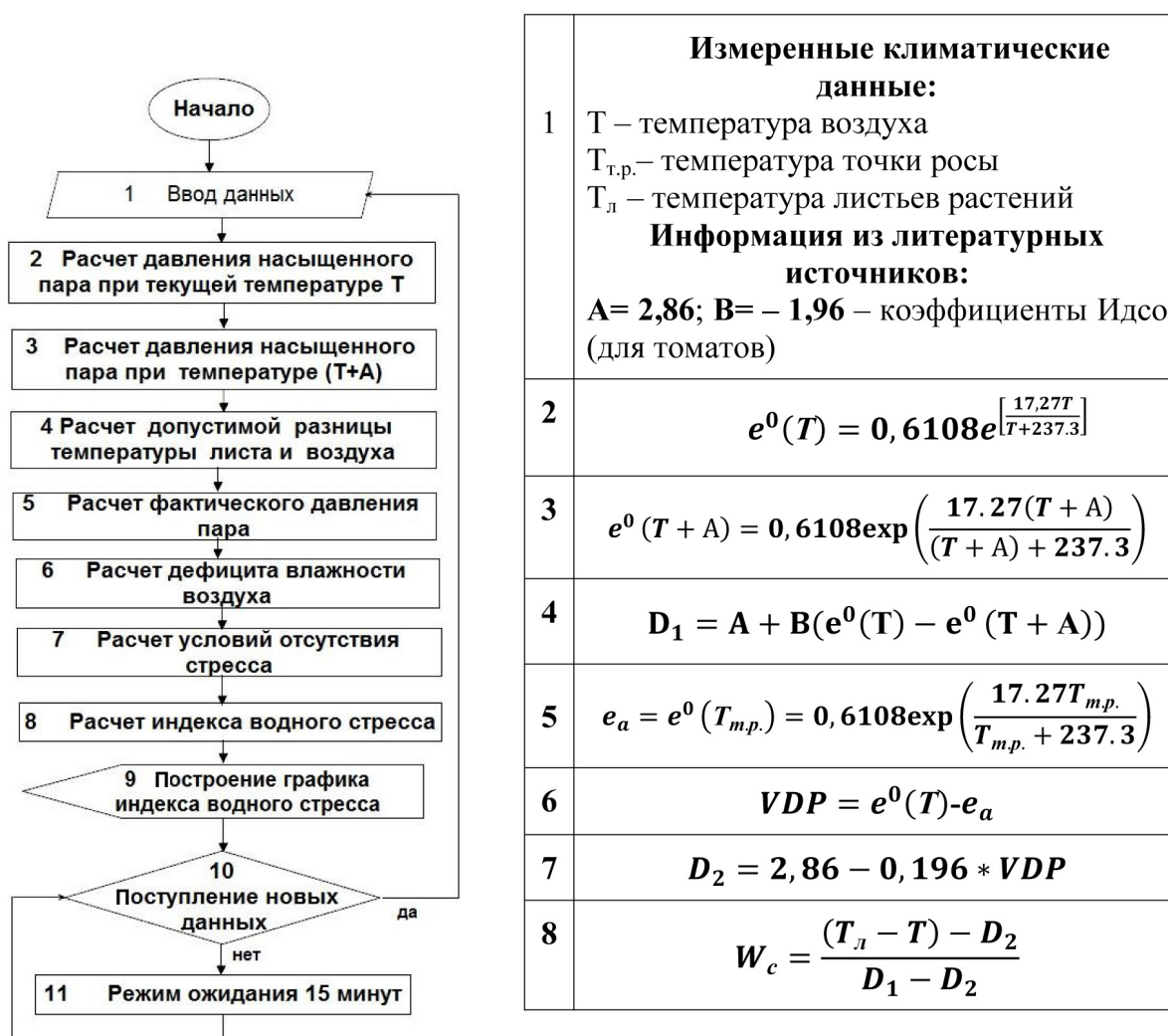


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета индекса водного стресса
Fig. 3. Control flow chart of the water stress index calculation

В основе практического применения индекса водного стресса лежит возможность определения в режиме реального времени основных параметров окружающей среды и растения – температуры листа, температуры и влажности воздуха, а также остальных параметров. Процесс снятия параметров проводили в автоматическом режиме. Результаты измерений по радиоканалу передавали на фитомонитор и далее через USB-адаптер на компьютер. Результаты обработки измерений от 12, 13 и 16 июля, выполненные в соответствии с алгоритмом, представлены на рис. 4.

Из графика следует, что величина индекса водного стресса меньше критического значения 0,3. Следовательно, растения не испытывали недостатка в воде. Стандартное отклонение индекса водного стресса снаружи полностью перекрывает интервал изменения индекса водного стресса внутри укрытия, следовательно, разница между ними находится в пределах ошибки опыта. Эксперимент показал высокую надежность

работы фитомонитора, метеостанции и комплекта датчиков, не зафиксировано ни одного сбоя.

Недостаток данного комплекса состоит в том, что используются точечные датчики температуры листа, т.е. фактически температура листового аппарата всех растений в опыте оценивается по температуре одного листа. В связи с этим целесообразно использовать инфракрасные датчики, которые измеряют температуру поверхности всех листьев растений, попавших в зону захвата. Следует также заметить, что определение обеспеченности растений водой по методу Идсо – Джексона имеет существенный недостаток: он не учитывает солнечную радиацию и влияние ветра, размеры и сомкнутость растений, которые оказывают влияние на испарение воды с поверхности листа. Работы по дальнейшему совершенствованию системы управления продукционным процессом в режиме реального времени необходимо продолжить на основе методики расчета эвапотранспирации [18].



Рис. 4. Результаты расчета индекса водного стресса

Fig. 4. Results of the water stress index calculation

ВЫВОДЫ

1. Комплект приборов для фитомониторинга на основе фитомонитора РМ-IIz обеспечивает бесперебойный сбор и хранение информации о состоянии растений и среды их обитания в течение всего периода вегетации.

2. Разработанный алгоритм позволяет выполнять расчет индекса водного стресса на основе результатов фитомониторинга. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование системы управления продукционным процессом в режиме реального времени на основе методики расчета эвапотранспирации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьев В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала северо-запада России // *Агрофизика*. 2016. № 2. С. 35–5.
2. Ильницкий О.А. Зависимость интенсивности фотосинтеза *Nerium oleander* L. и *Laurus nobilis* L. от факторов внешней среды (ТВ, I-ФАР, ВВОЗ.), температуры листьев, транспирации и их изменение в ходе вегетации в условиях ЮБК // *Бюллетень государственного Никитского ботанического сада*. 2017. № 125. С. 109–113.
3. Поддубский А.А., Шуравилин А.В., Сурикова Н.В. Влияние влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Московской области // *Природообустройство*. 2017. № 2. С. 68–74.
4. Нестяк В.С., Усольцев С.Ф., Ивакин О.В., Косьяненко В.П., Рыбаков Р.В., Патрин В.А. К вопросу управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур (на примере томатов) // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 47. № 3. С. 73–79.
5. Бабичев А.Н., Ольгаренко В.И. Технологические подходы к нормированию режимов орошения и аппарат прогнозирования водопотребления картофеля в условиях поймы нижнего Дона // *Научный журнал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации*. 2016. Т. 22. №2. С. 148–165.
6. Хорт Д.О., Смирное И.Г. Интеллектуальные машинные технологии в садоводстве // *Таврический вестник аграрной науки*. 2017. Т. 9. № 1. С. 119–126.
7. Семенов С.А., Васильев С.А., Максимов И.И. Особенности реализации и перспективы применения технологий цифрового земледелия в АПК // *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. Т. 4. № 1. С. 69–76.
8. Железова С.В. Применение оптических датчиков для оценки состояния посевов озимой пшеницы // *Агрофизика*. 2018. № 3. С. 42–8.
9. Ефимов А.Е., Ситдикова Ю.Р., Доброхотов А.В., Козырева Л.В. Мониторинг эвапотранспирации на сельскохозяйственном поле, определение норм и сроков полива автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45. № 1. С. 100–105.
10. Максенкова И.Л., Доброхотов А.В., Козырева Л.В. Параметрическая идентификация модели роста и развития AQUACROP на посевах рапса в Ленинградской области // *Агрофизика*. 2018. № 1. С. 44–53.
11. Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Математическое моделирование и управление состоянием посевов по данным дистанционного зондирования // *Агрофизика*. 2016. № 2. С. 45–54.
12. Шишкин П.В., Тон Ю. Фитомониторинг в практическом растениеводстве // *Теплицы России*. 2009. № 1. С. 50–53.
13. Одинцова В.А. Фитомониторинг при изучении водного обмена и температурного режима растений черешни // *Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства*. 2017. Т. 13. С. 55–58.
14. Козырева Л.В., Ситдикова Ю.Р., Ефимов А.Е., Доброхотов А.В. Методика оценки биологического водопотребления посевов для решения задач управления водным режимом // *Агрофизика*. 2018. Т. 12. №4. С. 12–19.
15. Нестяк В.С., Чепурин Г.Е., Ивакин О.В., Усольцев С.Ф. Защитные экраны – резервные возможности для овощеводства // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30.

№ 8. С. 83–86.

16. Ивакин О.В., Нестяк В.С. Техногенез в продукционном процессе томатов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. Т. 142. № 8. С. 149–155.
17. Jackson R.D., Kustas W.P., Choudhury B.J. A reexamination of the Crop Water Stress Index // Irrigation Science. 1988. Vol. 9. P. 309–317.
18. Allen R.G. Using the FAO – 56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration inter comparison study // Journal of Hydrology. 2000. Vol. 229–P. 27–1.

REFERENCES

1. Ivanov A.I., Konashenkov A.A., Ivanova Zh.A., Vorob'ev V.A., Fesenko M.A., Danilova T.A., Filippov P.A. Agrotekhnicheskie aspekty realizatsii bioklimaticheskogo potentsiala severo-zapada Rossii [Agrotechnical aspects of implementation of bio-climatic potential of the north-west of Russia]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2016, no. 2, pp. 35–45.
2. Il'nitskii O.A. Zavisiimost' intensivnosti fotosinteza Nerium oleander L. i Laurus nobilis L. ot faktorov vneshnei sredy (TV, I-FAR, DVOZ.), temperatury list'ev, transpiratsii i ikh izmenenie v khode vegetatsii v usloviyakh YuBK [Dependence of photosynthesis intensity Nerium oleander L. and Laurus nobilis L. on external environment factors (TV, I-FAR, DVOZ.), leaf temperature, transpiration and their change in the course of vegetation in the conditions of the South Coast of Crimea]. *Byulleten' gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden], 2017, no. 125, pp. 109–113.
3. Poddubskii A.A., Shuravilin A.V., Surikova N.V. Vliyanie vlagoobespechennosti na urozhainost' sePskokhozyaistvennykh kul'tur v usloviyakh Moskovskoi oblasti [Influence of water availability on the yield of agricultural crops in the conditions of Moscow region]. *Prirodoobustroistvo* [Environmental engineering], 2017, no. 2, pp. 68–74.
4. Nestyak V.S., Usoltsev S.F., Ivakin O.V., Kos'yanenko V.P., Rybakov R.V., Patrino V.A. K voprosu upravleniya produktsionnym protsessom sePskokhozyaistvennykh kul'tur (na primere tomato v) [On the issue of management of agricultural crops' production process (on the example of tomatoes)]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Bashkir State Agrarian University], 2018, vol. 47, no. 3, pp. 73–79.
5. Babichev A.N., Ol'garenko V.I. Tekhnologicheskie podkhody k normirovaniyu rezhimov orosheniya i apparat prognozirovaniya vodopotrebleniya kartofelya v usloviyakh poimyy nizhnego Dona [Technological approaches to setting irrigation schedule and a device for forecasting water consumption of potatoes in the conditions of the Don river floodplain]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], 2016, vol. 22, no. 2, pp. 148–165.
6. Khort D.O., Smirnov I. G. Intellektual'nye mashinnye tekhnologii v sadovodstve [Smart engineering technologies in horticulture]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki* [Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science], 2017, vol. 9, no. 1, pp. 119–126.
7. Semenov S.A., Vasil'ev S.A., Maksimov I.I. Osobennosti realizatsii i perspektivy primeneniya tekhnologii tsifrovogo zemledeliya v APK [Peculiarities of implementation and prospects of digital agriculture technologies application in AIC]. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy], 2018, vol. 4, no. 1, pp. 69–76.
8. Zhelezova S.V. Primenenie opticheskikh datchikov dlya otsenki sostoyaniya posevov ozimoi pshenitsy [Application of optical sensors for assessment of the state of winter wheat crops]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2018, no. 3, pp. 42–8.
9. Efimov A.E., Sitdikova Yu.R., Dobrokhoto A.V., Kozyreva L.V. Monitoring evapotranspiratsii na sel'skokhozyaistvennom pole, opredelenie norm i srokov poliva avtomatizirovannym toBIГpyt polevym agrometeorologicheskim kompleksom [Monitoring of evapotranspiration on agricultural field, determination of rates and terms of watering with an automated mobile field agrometeorological complex]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2018, vol. 45, no. 1, pp. 100–105.
10. Maksenkova I.L., Dobrokhoto A.V., Kozyreva L.V. Parametricheskaya identifikatsiya

- modeli rosta i razvitiya AQUACROP na pos evakh rapsa v Leningradskoi oblasti [Parametric identification of AQUACROP growth and development model on rape crops in Leningrad region]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2018, no. 1, pp. 44–53.
11. Mikhailenko I.M., Timoshin V.N. Matematicheskoe modelirovanie i upravlenie sostoyaniem posevov po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Mathematic modelling and management of crops according to remotely sensed data]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2016, no. 2, pp. 45–54.
12. Shishkin P.V., Ton Yu. Fitomonitoring v prakticheskom rastenievodstve [Phytomonitoring in practical plant breeding]. *Teplitsy Rossii* [Green houses of Russia], 2009, no. 1, pp. 50–53.
13. Odintsova V.A. Fitomonitoring pri izuchenii vodnogo obmena i temperaturnogo rezhima rastenii chereschni [Phytomonitoring when studying water exchange and temperature conditions of cherry plants]. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo nauchnogo uchrezhdeniya Severo-Kavkazskogo zonal'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva i vinogradarstva* [Scientific works of the State Scientific Organization of North-Caucasian Regional Research Institute of Horticulture and Viticulture], 2017, vol. 13, pp. 55–58.
14. Kozyreva L.V., Sitdikova Yu.R., Efimov A.E., Dobrokhotov A.V. Metodika otsenki biologicheskogo vodopotrebleniya posevov dlya resheniya zadach upravleniya vodnym rezhimom [Assessment methods of biological water consumption of crops in order to solve tasks of managing water regime]. *Agrofizika* [Agrarian physics], 2018, vol. 12, no. 4, pp. 12–19.
15. Nestyak V.S., Chepurin G.E., Ivakin O.V., Usoltsev S.F. Zashchitnye ekrany – rezervnye vozmozhnosti dlya ovoshchevodstva [Protective screens as a back-up means for vegetable growing]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2016, vol. 30, no. 8, pp. 83–86.
16. Ivakin O.V., Nestyak V.S. Tekhnogenez v produktsionnom protsesse tomatov [Technogenesis in production process of tomatoes]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], 2016, vol. 142, no. 8, pp. 149–155.
17. Jackson R.D., Kustas W.P., Choudhury B.J. A reexamination of the Crop Water Stress Index. *Irrigation Science*, 1988, vol. 9, p. 309–317.
18. Allen R.G. Using the FAO – 56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration inter comparison study. *Journal of Hydrology*, 2000, vol. 229, pp. 27–1.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Усолюдов С.Ф., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий; Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ **Нестяк В.С.**, доктор технических наук, заведующий лабораторией; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463, e-mail: nestyak-vs@ya.ru

AUTHOR INFORMATION

Usoltsev S.F., Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; address: Krasnoobsk, Novosibirsk, 630501, Russia

✉ **Nestyak V.S.**, Doctor of Science in Engineering, Laboratory Head of the Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: nestyak-vs@ya.ru

Дата поступления статьи 11.08.2018

Received by the editors 11.08.2018



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-11

УДК 63.636./636.01.012

ГЕНОФОНД АБОРИГЕННЫХ ПОРОД ЖИВОТНЫХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Иванов Р.В., Романова В.В., Федоров В.И., Хомподоева У.В.

*Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
им. М.Г. Сафронова*

Республика Саха, Якутск, Россия

Для цитирования: Иванов Р.В., Романова В.В., Федоров В.И., Хомподоева У.В. Генофонд аборигенных пород животных Республики Саха (Якутия) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 86–94. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-11

For citation: Ivanov R.V., Romanova V.V., Fedorov V.I., Hompodoeva U.V. Genofond aborigennykh porod zhivotnykh Respubliki Sakha (Yakutiya) [Gene pool of native breeds of livestock in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 86–94. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-11

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты многолетних исследований по происхождению, сохранению и рациональному использованию генетических ресурсов аборигенных пород сельскохозяйственных животных Республики Саха (Якутия). Эти породы отличаются высокой приспособленностью к экстремальным условиям содержания и суровым условиям внешней среды, не требовательны к условиям кормления и характеризуются высоким качеством производимой продукции (молока, мяса, шкуры и продуктов их переработки). Рассмотрены природно-климатические, исторические, социальные и экономические особенности развития якутского животноводства. Описаны основные этапы реализации в Якутии концепции создания адаптированного типа крупного рогатого скота регионального уровня значения. Проведенные молекулярно-генетические исследования свидетельствуют об уникальности генетической структуры разводимых аборигенных пород (якутского скота, лошадей и северных оленей). Генетическая уникальность и приспособленность якутского скота, лошадей и оленей к суровым условиям делает его ценным материалом для использования в селекционной работе и изучении механизмов адаптации.

Ключевые слова: животноводство, якутский скот, якутская порода лошадей, северные домашние олени, генофонд, селекция, разведение

GENE POOL OF NATIVE BREEDS OF LIVESTOCK IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

**Ivanov R.V., Romanova V.V.,
Fedorov V.I., Hompodoeva U.V.**

*Yakut Research Institute of Agriculture named
after M.G. Safronov*

Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

The paper presents the results of many-year research into the origin, preservation and rational use of the genetic resources of native livestock breeds in the Republic of Sakha (Yakutia). These breeds are characterized by high adaptability to extreme housing conditions and severe environmental conditions. They are not exacting about feeding and are distinguished by high quality of the produce (milk, meat, skin and products of their processing). The article analyzes natural climatic, historic, social and economic developmental characteristics of Yakut animal husbandry. The main stages of the concept implementation for breeding and raising cattle of the adapted type on the regional level are described. The molecular and genetic research testify to the unique genetic structure of native livestock breeds (Yakut cattle, horses and reindeer). The genetic unique character and adaptability of Yakut cattle, horses and reindeer to the harsh conditions make them a valuable material for further breeding work and research into adaptation mechanisms.

Keywords: livestock production, Yakut cattle, Yakut breed of horses, northern domestic reindeer, gene pool, breeding, cultivation

ВВЕДЕНИЕ

Культурно-исторический вклад народа саха в развитие северной цивилизации заключается в создании самобытной северной системы жизнедеятельности народов, экономической основой которых является разведение аборигенных пород животных¹. Как отмечал М.И. Рогалевич (1941 г.) Республике Саха (Якутия) по ведению животноводства, как самостоятельно функционирующей системы в условиях арктического Приполярья, в мировом сообществе аналогов нет. В сельском хозяйстве республики из-за суровых климатических условий преобладает животноводческая отрасль, обеспечивающая северного человека высокопитательной мясной и молочной продукцией и ценным сырьем для производства товаров народного потребления.

Сохранение и рациональное использование генетических ресурсов животных являются ключевым источником жизнеобеспечения, удовлетворяющим основные потребности населения и дающим возможность существования в самых неблагоприятных условиях окружающей среды.

«История освоения человеком этой наиболее холодной части планеты насчитывает около 3 млн лет и вплоть до настоящего времени аборигенный якутский скот и лошади во все времена обитали здесь, выдержав различные чрезвычайные ситуации, как всемирное похолодание и другие природные катастрофы»².

Якутский скот и лошади, созданные на протяжении тысячелетий, – ценнейшее достояние исторического наследия народа саха. Северное оленеводство не только отрасль хозяйства, но и образ жизни, существования и быта малочисленных народов Севера. Оно обеспечивает рациональное использование естественных кормовых ресурсов, расширение сферы приложения труда в смежные отрасли охотничий, рыбный и

морской промыслы и др. Все местные аборигенные породы отличаются высокой степенью приспособленности к экстремальным условиям содержания и суровым условиям внешней среды и нетребовательны к условиям кормления. Эти породы, исторически приуроченные к природно-экологической, историко-этнографической среде, характеризуются высоким качеством и экологической чистотой производимой продукции (молока, мяса, шерсти и сырья народных промыслов).

Генофонд аборигенных пород – наша живая история, уникальная страница животноводства Крайнего Севера. В этой связи актуальны работы по сохранению и рациональному использованию генофонда местных аборигенных пород, совершенствованию технологии содержания и разведения якутского скота, лошадей и северных оленей для повышения эффективности северного животноводства.

Скотоводство. Массовое распространение рогатого скота на территории Якутии началось с XIV в. с территории Лено-Амгинского междуречья. В течение нескольких веков народу саха удалось создать необходимый для крупного рогатого скота ландшафт. Постепенно скотоводство стало одним из главных занятий якутов на Севере. Скот содержали в стойловый период в течение 8–9 месяцев в коровниках (хотонах), в летнее время в сайылыках. Был создан своеобразный способ, сочетающий зимнее стойловое и летнее сайылычное содержание скота. Благодаря самобытной северной системе народ саха в экстремальных условиях вывел породу скота, отличающуюся неприхотливостью, минимальной потребностью в кормах, с высоким содержанием жира в молоке и питательным мясом.

Якутский крупный рогатый скот (*Bos Taurus turano mongolicus*) – единственная из аборигенных сибирских пород, сохранившаяся в чистоте.

¹Вклад Якутии в развитие северной цивилизации евразийского континента: аграрный аспект URL: <http://med.org.ru/article/2113>. (дата обращения: 30.06.2018)

²Еще раз о происхождении саха через аборигенные скот и лошадь. URL: <http://yakutiafuture.ru/2017/02/01/eshhe-raz-o-proisxozhdenii-saxa-cherez-aborigennye-skot-i-loshad/> (дата обращения: 29.06.2018).

Вопросы сохранения генофонда местных пород тесно переплетаются с природно-климатическими, организационными, социальными и экономическими обстоятельствами. Наиболее общими условиями сохранения локальных пород являются жизнеспособность, адаптивность, состояние здоровья, воспроизводительные способности и уникальный генетический полиморфизм на молекулярном и морфологическом уровнях. Якутский аборигенный скот представляет исключительную ценность для будущей селекции.

Местный якутский крупный рогатый скот на всей территории Якутии в чистоте породы разводили до 1929 г. и его численность составляла 555 593 гол. На 1 июля 2017 г. поголовье якутского скота во всех категориях хозяйств республики насчитывало 1749 гол. Из общего поголовья 58,1% приходилось на сельскохозяйственные предприятия, 41,9% – на крестьянские (фермерские) хозяйства.

Такая малая численность якутского скота ведет к угрозе исчезновения данной популяции. Для выведения популяции из угрожающего статуса необходимо увеличить маточное поголовье, как минимум, в 1,5 раза. Из-за малочисленности современной популяции якутского скота встает острый вопрос о сохранении генетических ресурсов и генофонда породы.

На основании сходства по краниологическим и экстерьерным признакам, к подвиду *Bos Taurus turano mongolicus* ранее относились восемь пород: калмыцкая, якутская, киргизская, казахская, сибирская, маньчжурская, монгольская и бурятская. К настоящему времени сохранились только три: калмыцкая, якутская и монгольская. Общим их предком был определен дикий азиатский бык *Bos turano mongolicus*.

С 1987 по 1995 г. учеными исследованы все основные генетические параметры систем антигенов крови трех популяций якутского скота, сохранившегося в чистоте породы в высокогорном районе Верхоянья. Проведено изучение ассоциации антигенов крови, характерных для чистопородного

якутского скота, высокая и низкая частоты которых сохраняются в помесных популяциях. Они были названы уникальными генетическими маркерами якутского скота.

Учеными Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова (ЯНИИСХ) совместно с зарубежными учеными в течение нескольких лет проведены исследования с применением микросателлитового анализа ДНК-маркеров. Изучено генетическое разнообразие якутского скота и проведено сравнение с 44 породами крупного рогатого скота севера Европы и Азии и Ближнего Востока [1]. В якутской породе выявлены редкие и исчезающие сочетания генов, сохранение которых является первостепенной задачей науки и практики.

В настоящее время проводят работы по созданию базы данных популяции якутского скота в Республике Саха (Якутия). В рамках соглашения о научно-техническом сотрудничестве между ЯНИИСХ и Институтом природных ресурсов Финляндии продолжаются работы по изучению генетики якутского скота. В плане исследований – изучение процесса адаптации обмена веществ в организме скота к условиям низких температур. Проведена работа по расшифровке генома якутского скота, изучена роль генов в формировании хозяйственно-полезных признаков и изучен состав и роль микрофлоры рубца животного в процессе адаптации.

Генофонд якутского скота интересует многих генетиков мира. За последние годы проведено всестороннее генетическое изучение российских пород крупного рогатого скота, в том числе и нативного якутского скота, в сравнении с мировыми породами.

Генетические дистанции по SNP-маркерам доказывают, что якутская порода наиболее дифференцирована от всех изученных пород крупного рогатого скота и показывает более низкий уровень генетического разнообразия, чем ряд других евразийских пород крупного рогатого скота. Это наблюдение может быть объяснено длительной генетической и географической изоляцией.

У якутского скота также мог проявиться «эффект основателя и бутылочного горлышка» из-за небольшой численности исходной популяции.

При распределении по кластерам наибольшее генетическое расстояние (из сравниваемых пород) отмечено между якутским скотом и холмогорской породой. Наиболее близким является бурятский скот, недавно вывезенный из Монголии в Россию. Следует отметить, что бурятский скот имеет больше общих гаплотипов с якутским скотом и скотом Вагу из Японии, чем с другими породами турано-монгольского корня, что указывает на общую родословную этих пород. Также якутский скот был обнаружен в одном кластере филогенетического дерева с крупным рогатым скотом Ханву из Кореи.

Генетическая уникальность и приспособленность якутского скота к суровым условиям делает его ценным материалом для использования в селекционной работе и изучения механизмов адаптации.

Привлечение в селекцию якутских животных симментальской и холмогорской пород привело к созданию двух генеалогических массивов разного корня (палево-пестрой и черно-пестрой групп соответственно). Современная популяция якутского скота составляет 139 750 гол. животных, улучшенных симментальской породой, и 40 571 гол. холмогорской (75,7 и 22,4% от всего поголовья соответственно). В настоящий момент согласно требованиям по бонитировке помесные животные по продуктивным качествам значительно отличаются от заводских и товарных стад центральной части страны.

Одно из важнейших направлений исследований – создание адаптированного типа крупного рогатого скота, который отличался бы от других зональных типов и пород наибольшей приспособленностью к климатическим и кормовым условиям Якутии, экстерьерно-конституциональными наследственными особенностями, продуктивным долголетием [2]. Впервые в истории животноводства Якутии будет создан адаптированный тип крупного рогатого скота регионального уровня значения.

Разработана концепция с этапами создания адаптированного типа скота, которая включает выбор базовых хозяйств-оригинаторов, разработку схем отбора и подбора, целевых стандартов продуктивности местного скота, характеристику генетической и генеалогической структуры формируемого типа крупного рогатого скота, определение генетической однородности и типичности животных исходной популяции, оценку племенной ценности, интерьерных и экстерьерных параметров животных, отвечающих критериям генетической обособленности и сочетающих в себе качества адаптивности и продуктивности. Проведена работа по определению программ разведения и закрепления быков-производителей на маточном поголовье, правил получения быков-производителей желательного генотипа, норм оформления научно-технической документации по выведению адаптированного типа скота и перевода части родственного поголовья в разряд региональной популяции [3].

В условиях Якутии местный скот, выведенный в суровых природно-климатических условиях, при умеренном уровне кормления продуцирует довольно долго. Продуктивное долголетие является важным адаптационным качеством. При существующих условиях кормления и содержания местные коровы дают в среднем восемь лактаций [4].

Проведен комплекс работ, направленных на определение племенной ценности быков-производителей по молочной продуктивности дочерей. Организованы комплексные экспедиционные обследования животных в базовых хозяйствах Центральной и Вилуйской зон республики. Проведены исследования по характеристике уникального аллелофонда маточного поголовья крупного рогатого скота на основе анализа полиморфизма STR-маркеров, по характеристике генетической и генеалогической структуры крупного рогатого скота, оценки генетической однородности и определению степени генетического сходства массива скота.

Данные работы направлены на получение новых высокоэффективных генотипов скота, адаптированных к жестким климатичес-

ким условиям республики, особенностям кормовой базы и технологии производства молока. Исследования в первую очередь имеют прикладное значение для сохранения ценного генофонда якутской породы.

Коневодство – один из древних видов человеческой деятельности, история которого насчитывает несколько тысячелетий. Корни якутской аборигенной лошади уходят в глубь веков, и она по праву относится к древнейшим породам. Об этом свидетельствуют раскопанные золотодобытчиками на р. Индигирке в 70-х годах XIX в. останки лошади, которая, по определению исследователей, тебеневала еще рядом с мамонтами, и по строению скелета имело сходство с современной якутской лошастью³. По предположению многих исследователей, это единственная в мире порода, которая произошла от диких белых тундровых лошадей и не вымерла как мамонт или носорог, а сохранилась до наших дней.

По гипотезам В.Л. Серошевского (1993 г.), М.И. Рогалева (1941 г.), М.Ф. Габышева (1957 г.), Ю.Н. Барминцева (1963 г.), современная якутская лошадь, особенно ее северные типы, возникла в результате скрещивания лошадей из Прибайкалья с дикой позднеплейстоценовой лошастью, сохранившейся от ледникового периода. Гипотеза Н.К. Верещагина (1979 г.), П.А. Лазарева (1980 г.) предполагает, что якутская лошадь является прямым потомком дикой позднеплейстоценовой лошади. Н.Д. Алексеев (2005 г.) в статье «Новое о происхождении лошадей якутской породы (биологические аспекты)» по результатам своих многолетних исследований адаптивных качеств якутской лошади приходит к выводу об ее южном происхождении. И.П. Гурьев, А.К. Ахременко (2008 г.) установили сильно выраженную разнородность между лошадьми западных и восточных районов Якутии –

родственниками монгольских аргамаков и скакунами кочевых тюрков. В результате многовековой селекции и адаптации к суровым условиям Крайнего Севера животные приобрели уникальные морфологические и физиологические характеристики⁴.

Для оценки уникальности якутских лошадей было изучено 17 микросателлитных локусов, среди них идентифицировано 145 аллелей. Число аллелей в локусе варьировало от 5 до 17. Наибольшее число аллелей наблюдалось в аутосомных локусах ASB 17 (17 аллелей). Локус ASB 17 характеризуется крайне высоким уровнем аллельной варибельности во всех изученных заводских и местных породах. Якутская лошадь является прародительницей редких аллелей ASB 17 D, ASB 17 T. В локусе LEX 3, расположенном на X-хромосоме, было идентифицировано 10 аллелей, в том числе не характерный для заводских пород LEX3 G [5]. Генетическая структура якутской лошади характеризуется высоким уровнем генетического разнообразия всех панельных STR-локусов ($A_e = 4,27$, $H_o = 0,734$). Для якутских лошадей типична высокая частота встречаемости аллелей HTG4M (0,637), VHL20Q 176 (0,205), LEX3M (0,364), а также наличие приватного аллеля HMS3K (0,023), что характеризует уникальность генетической структуры якутской лошади [6].

Порода якутской лошади, выведенная методом народной селекции, в 1987 г. приказами Госагропрома СССР и РСФСР от 02.09.1987 г. № 680 и от 01.10.1987 г. № 871 утверждена как самостоятельная. По результатам кропотливой и совместной работы ученых-селекционеров и практиков-коневодов утверждены и зарегистрированы в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений Российской Федерации от 16 февраля 2011 г. две породы лошадей – мегежекская и приленская, а

³Матвеев И.А. Пути совершенствования организационно-экономического механизма развития якутского табунного коневодства // Устойчивое развитие табунного коневодства: материалы научно-практической конференции I Международного конгресса по табунному коневодству. Якутск, 2006. С. 57–62.

⁴Гурьев И.П., Ахременко А.К. Происхождение якутской лошади и народа саха в свете генетической археологии и истории // Устойчивое развитие табунного коневодства: материалы научно-практической конференции I Международного конгресса по табунному коневодству. Якутск, 2006. С. 117–119.

также два типа – колымская и янская. В настоящее время по каждой породе лошадей функционируют конные заводы, основными задачами которых являются сохранение и приумножение породных особенностей, репродукция элитного поголовья и распространение по товарным коневодческим хозяйствам. На 1 января 2018 г. поголовье лошадей насчитывало 183,8 тыс. гол., что составило 104,2% к уровню прошлого года⁵.

Производство конины в живой массе за 8 лет (2008–2016) увеличилось на 107%, или от 6,06 тыс.т до 12,6 тыс.т. За эти годы доля конины в общей структуре произведенного в республике мяса увеличивалась от 16,1 до 36,0% в 2016 г.⁵ В настоящее время есть все основания полагать, что существенная часть мясной продукции будет поступать за счет развития табунного коневодства, поголовье лошадей к 2030 г. может увеличиться до 255 тыс. гол., будет произведено более 25 тыс.т мяса в живой массе.

Таким образом, Якутии в современных условиях необходимо более эффективно использовать свои конкурентные преимущества, особенно в производстве экологически чистой продукции. В Якутии производство мяса традиционно считается одним из основных и приоритетных направлений в сельском хозяйстве. Это перспективное направление в животноводстве, которое еще не полностью реализовало свои возможности. У республики есть реальные возможности занять достойное место среди экспортеров мяса и продуктов его переработки. Здесь имеются обширные пастбищные угодья, позволяющие максимально снизить себестоимость продукции, наличие по соседству емкого китайского рынка потребления и национальные традиции ведения коневодства. На мировом рынке не имеется аналогов производства лекарственных средств и биологически активных добавок к пище, полученных на основе жира и крови якутских лошадей [7].

Оленеводство. Северный олень (*Rangifer tarandus*) – единственный представитель рода *Rangifer*, принадлежит к числу наиболее интересных объектов изучения генетического разнообразия. Породы северного оленя характеризуются относительно высоким уровнем генетического разнообразия: у тувино-тофаларской породной группы среднее число аллелей на локус составляет $6,11 \pm 0,56$, ненецкой $6,67 \pm 0,50$, эвенской $8,00 \pm 0,76$ и $8,89 \pm 0,65$ эвенкийской породы. Такая же закономерность отмечена в отношении числа эффективных аллелей: наименьшим значением данного показателя характеризуются тувино-тофаларская породная группа ($3,37 \pm 0,47$ аллелей на локус), максимальным эвенкийская порода ($4,89 \pm 0,46$ аллелей на локус), а эвенская и ненецкая занимают промежуточное положение ($4,42 \pm 0,53$ и $3,90 \pm 0,38$ соответственно). Число аллелей в отдельных локусах варьирует от 4 (в локусах NVHRT21 и NVHRT24 тувино-тофаларской породной группы) до 12 в локусе RT7 у эвенкийской породы и в локусе RT1 у эвенской породы [8].

Расчет наблюдаемой (Ho) и ожидаемой (He) степеней гетерозиготности показал, что во всех исследованных группах наблюдался существенный дефицит гетерозигот (от 10 до 16%), что подтверждается также высокими положительными значениями индекса F_{is} . Вместе с тем значения информационного индекса Шеннона указывают на достаточно высокое генетическое разнообразие в трех из четырех исследованных групп ($I \geq 1,5$), за исключением тувино-тофаларской породной группы. Наибольший уровень разнообразия по названным выше показателям отмечен в популяциях эвенских и эвенкийских оленей Якутии, имеющих перекрывающиеся ареалы обитания [9].

По состоянию на 1 января 2017 г. во всех категориях хозяйств в Республике Саха (Якутия) содержалось 156,8 тыс. гол. северных домашних оленей эвенской, эвенкийской и чукотской (харгин) породы. Из

⁵Свидетельство о государственной регистрации базы данных: Анализ состояния коневодства в РС (Я) на период 1986–2016 гг.: № 2018620524 / Р.В. Иванов, В.Г. Осипов, У.В. Хомподоева, М.Н. Слободчикова, И.В. Алферов, Д.Н. Шахурдин; заявл. 20.02.2018; опублик. 04.04.2018. 1 с.

196 млн га оленьих пастбищ, выявленных на территории Якутии, требованиям оленеводческих хозяйств отвечают 66 млн га, из них 37 млн га переданы в пользование оленеводческим хозяйствам, к которым относятся естественные пастбища зон тундры, лесотундры и северной тайги. В настоящее время в Государственном племенном регистре Министерства сельского хозяйства Российской Федерации зарегистрированы следующие племенные репродукторы: ОАО КМНС «Хатыстыр» Алданского улуса по разведению эвенкийской породы оленей, МУП «Оленекский» Оленекского улуса по разведению эвенкийской породы оленей, МУП «Приморский» и МУП «Борогонское» Булунского улуса по разведению эвенской породы оленей⁶.

В настоящее время ведение исторически сложившегося северного домашнего оленеводства имеет право на дальнейшее существование. Поскольку технологии XVII–XVIII вв. не могут быть конкурентоспособными в современных рыночных условиях, такое направление домашнего оленеводства необходимо поддерживать за счет государства. При этом стратегическим направлением развития отрасли является крупностадное товарное оленеводство. К концу 2030 г. необходимо увеличить поголовье оленей до 210–230 тыс. гол., к 2050 г. довести до 250 тыс. оленей. В этой связи необходимо усилить селекционно-племенную работу и начать исследования по созданию новых пород и внутрипородных типов северных домашних оленей, отвечающих требованиям времени, организовать племенные хозяйства по природно-климатическим зонам разведения. Перспектива таежного оленеводства с учетом транспортной схемы региона и наличия стройматериалов состоит в создании принципиально новой технологии разведения оленей. Суть ее заключается в отказе от вынужденного производственного кочевания и создании условий для производства продукции на высокотехнологическом уровне, отвечающем мировым стандар-

там на основе изгородного (паркового) содержания северных домашних оленей, так называемом промышленном оленеводстве. Другими словами, домашнее оленеводство должно быть направлено не только на производство мяса, но и на производство продукции, получаемой от живого оленя. При определенных условиях промышленное оленеводство может обеспечить потребность рынка в биологически активных добавках из пантов, боя рога и крови оленей, новых видах молочного продукта и т. д. При этом организация отрасли должна быть поставлена на самый высокий технологический уровень, отвечающий строгим требованиям мирового рынка.

На территории Якутии в течение многовековой истории, отражающей ее социально-культурное развитие, созданы такие формы хозяйственной деятельности, как скотоводство, коневодство и оленеводство. Приоритет животноводческой отрасли предпочтителен из-за суровых климатических условий региона, так как она обеспечивает северного человека высокопитательной мясной и молочной продукцией и ценным сырьем для производства товаров народного потребления. Проведенные молекулярно-генетические исследования свидетельствуют об уникальности генетической структуры разводимых аборигенных пород (якутского скота, лошади и северных оленей), а чем больше разновидностей генов у животных, тем больше они устойчивы к различным заболеваниям, стрессам, катаклизмам и другим природно-технологическим явлениям.

Изучение генофонда якутского скота, лошадей и северных оленей представляет интерес в плане оригинальности генетической структуры и выявления полигенов, отвечающих за высокие адаптивные качества к природно-климатическим условиям, к системе содержания и заболеваниям. Эти замечательные качества аборигенных животных довольно стойко передаются по наследству, что является основанием для сохранения генофонда популяции местного скота, лошадей и северных оленей.

⁶Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016–2020 годы. Методическое пособие / Кемерово. 2017. 416 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li M.-H., Tapio I., Vilkkilä J., Ivanova Z., Kiselyova T., Marzanov N., Činkulov M., Stojanović S., Ammosov I., Popov R., Kantanen J. Genetic structure of cattle populations (*Bos taurus*) in northern Eurasia and the neighboring Near Eastern regions: implications for breeding strategies and conservation // *Molecular Ecology*. 2007. Vol. 16 (18). P. 3839–3853.
2. Романова В.В. Основные направления селекционно-племенной работы на современном этапе // Проблемы и перспективы развития АПК и его научное обеспечение в РС(Я). Якутск, 2011. С. 174–183.
3. Романова В.В. Совершенствование симментальского скота в условиях Центральной Якутии // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2013. С. 59–62.
4. Романова В.В., Горохов Н.И. Актуальные вопросы скотоводства Якутии // Главный зоотехник. 2014. № 11. С. 14–20.
5. Калинин Л.В., Гавриличева И.С., Зайцев А.М., Зайцева М.А., Осипов В.Г., Иванов Р.В. Генетическая характеристика якутской лошади // Коневодство и конный спорт. 2015. № 1. С. 22–23.
6. Калашников В.В., Храброва Л.А., Зайцев А.М., Зайцева М.А., Калинин Л.В. Полиморфизм микросателлитной ДНК у лошадей заводских и локальных пород // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 2. С. 41–45.
7. Слободчикова М.Н. Жирнокислотный состав липидов жировой ткани якутской лошади // Коневодство и конный спорт. 2011. № 6. С. 28–30.
8. Харзинова В.Р., Доцев А.В., Соловьева А.Д., Федоров В.И., Охлопков И.М., Виммерс К., Рейер Х., Брем Г., Зиновьева Н.А. Популяционно-генетическая характеристика домашнего северного оленя в Республике Якутия на основании полногеномного SNP анализа // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 4. С. 669–678. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.669rus
9. Южаков А.А. Северное оленеводство в XXI в.: генетический ресурс, культурное наследие и бизнес // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2 (26). С. 131–137. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-2-131-137

REFERENCES

1. Li M.-H., Tapio I., Vilkkilä J., Ivanova Z., Kiselyova T., Marzanov N., Činkulov M., Stojanović S., Ammosov I., Popov R., Kantanen J. Genetic structure of cattle populations (*Bos taurus*) in northern Eurasia and the neighboring Near Eastern regions: implications for breeding strategies and conservation. *Molecular Ecology*, 2007, vol. 16 (18), pp. 3839–3853.
2. Romanova V.V. Osnovnye napravleniya selektsionno-plemennoi raboty na sovremenno etape [The Main directions of selection and breeding work at the present stage]. *Problemy i perspektivy razvitiya APK i ego nauchnoe obespechenie v RS(Ya)* [Problems and prospects of development of agriculture and its scientific support in the RS(I)]. Yakutsk, 2011, pp. 174–183. (In Russian).
3. Romanova V.V. Sovershenstvovanie simmental'skogo skota v usloviyakh Tsentral'noi Yakutii [Improvement of Simmental cattle in the conditions of Central Yakutia]. *Vestnik Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi Akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture], 2013, pp. 59–62. (In Russian).
4. Romanova V.V., Gorokhov N.I. Aktual'nye voprosy skotovodstva Yakutii [Yakut Scientific Research Institute of Agriculture Topical issues of cattle breeding in Yakutia] *Glavnyi zootekhnik* [Chief livestock], 2014, no. 11, pp. 14–20. (In Russian).
5. Kalinkova L.V., Gavrilicheva I.S., Zaitsev A.M., Zaitseva M.A., Osipov V.G., Ivanov R.V. Geneticheskaya kharakteristika yakutskoi loshadi [Genetic characteristics of the Yakut horse], *Konevodstvo i konnyi sport* [Journal "Konevodstvo I Konny Sport"] 2015, no. 1, pp. 22–23. (In Russian).
6. Kalashnikov V.V., Khrabrova L.A., Zaitsev A.M., Zaitseva M.A., Kalinkova L.V. Polimorfizm mikrosatelitnoi DNK u loshadei zavodskikh i lokal'nykh porod [Polymorphism of microsatellite DNA in horses of factory and local breeds]. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* [Agricultural biology], 2011, no. 2, pp. 41–45. (In Russian).
7. Slobodchikova M.N. Zhirnokislotnyi sostav lipidov zhirovoi tkani yakutskoi loshadi [Fatty acid composition of fat tissue lipids of Yakut horse]. *Konevodstvo i konnyi sport*. [Journal "Konevodstvo I Konny Sport"], 2011, no. 6, pp. 28–30. (In Russian).

8. Kharzinova V.R., Dotsev A.V., Solov'eva A.D., Fedorov V.I., Okhlopkov I.M., Vimmers K., Reier Kh., Brem G., Zinov'eva N.A. Populyatsionno-geneticheskaya kharakteristika domashnego severnogo olenya v Respublike Yakutiya na osnovanii polnogenomnogo SNP analiza [Population genetic characteristics of domestic reindeer in the Republic of Yakutia on the basis of genome-wide SNP analysis]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2017, vol. 52, no. 4, pp. 669–678. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.669rus (In Russian).
9. Yuzhakov A.A. Severnoe olenevodstvo v XXI v.: geneticheskii resurs, kul'turnoe nasledie i biznes [Northern reindeer breeding in the twenty-first century: genetic resource, cultural heritage and business]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [The Arctic: ecology and economy], 2017, no. 2 (26), pp. 131–137. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-2-131-137 (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

(✉) **Иванов Р.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова; **адрес для переписки:** 677001, Республика Саха, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского 23, Россия, корпус 1; e-mail: coneovods@mail.ru

Романова В.В., кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

Федоров В.И., кандидат ветеринарных наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

Хомподоева У.В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова

AUTHOR INFORMATION

(✉) **Ivanov R.V.**, Doctor of Science in Agriculture, Laboratory Head of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov; **address:** 23/1 Bestuzheva-Marlinskovo str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia; e-mail: coneovods@mail.ru

Romanova V.V., Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Fedorov V.I., Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

Hompodoeva U.V., Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head of Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov

*Дата поступления статьи 19.07.2018
Received by the editors 19.07.2018*



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-12

УДК: 634.3

КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ЦИТРУСОВЫХ НА ОСНОВЕ РАЗМЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

¹Ульзии-Орших Дордж, ²Уранбайгаль Деиджибал, ¹Хунсеок Чае,
²Лхагвадорж Бацамбуу, ²Алтанхимег Бадарч, ²Шинебайар Далхаа

¹Национальный университет Чонбук
Деокджин-Донг, Южная Корея

²Монгольский университет наук о живой природе
Улан-Баатар, Монголия

Для цитирования: Ульзии-Орших Дордж, Уранбайгаль Деиджибал, Хунсеок Чае, Лхагвадорж Бацамбуу, Алтанхимег Бадарч, Шинебайар Далхаа. Классификация качества цитрусовых на основе размера с использованием обработки цифровых изображений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 95–101. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-12

For citation: Ulzii-Orshikh Dorj, Uranbaigal Dejidal, Hongseok Chae, Lkhagvadorj Batsambu, Altanchimeg Badarch, Shinebayar Dalkhaa. Klassifikatsia kachestva tsitrusovykh na osnove razmera s ispolzovaniem obrabotki tsifrovyykh izobrazheniy [Citrus fruit quality classification based on size using digital image processing]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 95–101. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-12

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлена разработка нового алгоритма компьютерной визуализации для классификации качества цитрусовых культур, основанного на размерах плодов одного дерева. Параметры изображения: площадь, периметр и диаметр цитрусовых – измерены в пикселях. Определены отношения значений диаметра, периметра и площади в пикселях к фактическому размеру плода для того, чтобы точно оценить размер плодов цитрусовых. Проведена группировка 1860 плодов цитрусовых на основе размера диаметра, периметра и площади в пикселях. Результаты группировки сопоставлены с результатами обзорных исследований по размеру плодов цитрусовых, которые проводились Комиссией Чеджу. Сравнительные результаты показывают, что диаметр изображений плодов в пикселях имеет более точный размер, чем значения в пикселях периметра и площади.

Ключевые слова: классификация качества продукции, цитрусовые культуры, размер плода, диаметр, периметр, площадь

CITRUS FRUIT QUALITY CLASSIFICATION BASED ON SIZE USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

¹Ulzii-Orshikh Dorj, ²Uranbaigal Dejidal,
¹Hongseok Chae, ²Lkhagvadorj Batsambu,
²Altanchimeg Badarch, ²Shinebayar Dalkhaa

¹Chon Buk National University,
Deokjin-Dong, South Korea,

²Mongolian University of Life Sciences,
Ulaanbaatar, Mongolia

A new computer vision algorithm for citrus fruit quality classification based on the size of a single tree fruits was developed in this study. The image properties of area, perimeter, and diameter for the citrus fruits were measured by pixels. In order to estimate citrus fruit size in a realistic manner, the ratios of diameter, perimeter and area in pixel values in relation to the actual size of one fruit were determined. The total of 1860 citrus fruits were grouped based on diameter, perimeter, and area in pixels. The results of the grouping of citrus fruits by diameter, perimeter and area were compared with the results of the survey research into citrus fruit size as conducted by the Jeju Citrus Commission. Comparative results reveal that the image of the citrus fruit diameter in pixels demonstrate a more accurate size than the other two pixel values, i.e. perimeter and area.

Keywords: classification of fruit quality, citrus fruit, size, diameter, perimeter, area

ВВЕДЕНИЕ

Контроль качества и классификация сельскохозяйственных продуктов – важные компоненты сельскохозяйственного производства и маркетинга. В настоящее время системы внешнего контроля и классификации качества сельскохозяйственной продукции учитывают ряд параметров, включая размер, форму, цвет, объем, площадь, периметр, выпуклость, энергию, округлость или внешние дефекты. Большое количество таких систем разработано для зерновых культур, фруктов и овощей, яблок, маслин, персиков и цитрусовых [1–11].

За последние годы увеличилось использование машинной визуализации для контроля качества фруктов и овощей. Несколько производителей в мире производят сортировочные машины, способные предварительно сортировать фрукты по размеру, цвету и массе. В настоящее время на острове Чеджу (Южная Корея) определение качества цитрусовых и мониторинг урожая осуществляют с помощью обычного зрения. Комиссия Чеджу по цитрусовым культурам и специальные сельскохозяйственные научно-исследовательские службы, а также службы по распространению опыта самоуправляемой провинции Чеджу проводят исследования для оценки ожидаемого размера цитрусовых каждый год в течение августа и ноября. Для обследования выбирают одно или два дерева из каждого места, где выращивают цитрусовые. С одного дерева снимают все плоды, измеряют их вертикальный и горизонтальный диаметр (иногда только горизонтальный). Размеры плодов другого дерева измеряют на ветвях.

Основными недостатками ручного обследования являются большое число работников, высокая трудоемкость, значительные затраты времени и финансов.

Цель статьи – разработать новый алгоритм компьютерной визуализации для классификации качества цитрусовых культур на основе размера плодов одного дерева.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Подробное схематическое представление предлагаемого метода предложено в виде блок-схемы (см. рис. 1).

Получение и предварительная обработка изображений. Для разработки и тестирования предложенного алгоритма распознавания и подсчета цитрусовых культур в ноябре с помощью камеры сделаны снимки на цитрусовых плантациях Гваннионг 1-ри, Эвол-эуп на острове Чеджу. Снимки осуществлены в режиме автофокусировки с четырех сторон каждого дерева в стационарном режиме при естественном дневном освещении, частично – в условиях облачной освещенности. До проведения этапа обработки изображения плоды цитрусовых выбирали следующим образом: изображение одного дерева разделили по горизонтали на три части; шесть плодов выбрали из верхней и нижней частей дерева, восемь плодов – из средней части.

Обработка изображений. Операцию обработки изображений выполняли с использованием 84 изображений от 21 дерева. Изображения были преобразованы из цветового пространства RGB в HSV: $\text{hsvImage} = \text{rgb2hsv}(\text{originalImage})$. Затем извлечены цветовые компоненты HSV. Пиксели плодов цитрусовых выбраны из цветовой гистограммы пикселей пространства HSV. Следующее условие использовалось для того, чтобы на компоненте H оказались только изображения плодов цитрусовых в пикселях: $(\text{hPlane} > 60) \ \& \ (\text{hPlane} < 260)$. Было создано двоичное изображение. После этого шум, который меньше 1000, удалили из изображения. Чтобы показать полный цитрусовый плод, заполнили дырки. Обнаруженные границы плодов были довольно грубыми. Чтобы уменьшить грубость этих границ, полученное изображение сглажено. Для определения размера цитрусовых плодов измеренные свойства определяли по областям изображения.

$\text{STATS} = \text{REGIONPROPS}(\text{BW}, \text{PROPERTIES})$ измеряет набор свойств для каждого связанного объекта в двоичном изображении.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма классификации качества цитрусовых на основе размера
Fig. 1. Control flow chart for classification of citrus fruit quality based on size

ражении. В данном исследовании площадь поверхности, периметр и диаметр входного изображения измеряли в пикселях.

Классификация качества по размеру. Согласно классификационным схемам Комиссии Чеджу по цитрусовым, плоды необходимо распределять по размеру в 11 групп. Для классификации качества использовали результаты, полученные на этапе обработки 1680 изображений плодов цитрусовых, полученных от 21 дерева. По размеру плоды разбили на 11 групп. Перед классификацией качества отношения диаметра, периметра и площади к реальному размеру плодов определяли следующим образом.

1. Выбрали девять плодов цитрусовых от одного дерева сада: по три плода из верхней, средней и нижней частей.

2. Сделали соответствующие снимки дерева.

3. Определили значения в пикселях диаметра, периметра и площади изображения девяти плодов.

4. Измерили фактический размер выбранных девяти плодов.

5. Определили, сколько пикселей помещается на 1 мм диаметра, периметра и площади для каждого выбранного плода соответственно.

6. Вычислили среднее значение по результатам, полученным на этапе 5.

7. Результаты исследований классификации качества по размеру затем сравнили с результатами обзора, полученными Комиссией Чеджу по цитрусовым.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для классификации качества цитрусовых разработан новый алгоритм компьютерной визуализации, основанный на размере пло-

дов одного дерева. Операцию обработки изображений проводили с использованием 84 изображений от 21 дерева (см. рис. 2). Исходное изображение цитрусового дерева в формате RGB показано на рис. 2, *а*. Чтобы выбрать плоды из изображения на входе, отдельное дерево было разделено по горизонтали на три части. Затем из верхней и нижней частей выбрали по шесть плодов, из средней – восемь. Изображение выбранных плодов цитрусовых представлено на рис. 2, *б*. Чтобы распознать плоды цитрусовых, изображения преобразовали из цветового пространства RGB в HSV, а затем цветовые компоненты HSV извлекали из изображения. Пиксели цитрусовых выбрали из цветовой гистограммы пространства HSV. Цветовая гистограмма пикселей показана на рис. 2, *в*. Исходное изображение содержит в основном оранжевые, желтые, зеленые, синие, голубые, пурпурные цветовые пиксели (с небольшим количеством красных). В этом исследовании не использовали диапазон от 60 до 260 град. На рис. 2, *г* проиллюстрировано двоичное изображение распознанных плодов цитрусовых. Результаты распознанных плодов цитрусовых представлены на рис. 2, *д*.

Площадь, периметр и диаметр изображения плодов на входе измеряли в пикселях. Значения пикселей площади, периметра и диаметра двух изображений образца приведены в табл. 1.

Табл. 1. Измеренные значения в пикселях площади, периметра и диаметра для двух образцов изображений

Table 1. Values of area, perimeter and diameter for two image samples measured in pixels

Номер шара	ST01_1.jpg			ST01_2.jpg		
	Пло- щадь	Пери- метр	Диам- метр	Пло- щадь	Пери- метр	Диам- метр
1	4038	238	72	5592	283	84
2	5191	323	81	6381	347	90
3	4129	241	73	6900	319	94
4	3490	227	67	5279	273	82
5	4251	244	74	5005	272	80
6	4255	247	74	6269	296	89
7	4201	246	73	5092	269	81
8	5130	268	81	5301	282	82
9	8196	393	102	4005	239	71
10	3889	230	70	5733	283	85

Классификацию качества, основанную на размере плодов цитрусовых, осуществляли с использованием данных 1680 плодов, разделенных на 11 групп. Перед классификацией определяли отношение величины диаметра в пикселях к фактическому размеру плода (см. рис. 3). Оригинальное изображение в формате RGB дерева с выбранными плодами представлено на рис. 3, *а*, изображение выбранных плодов в формате RGB – на рис. 3, *б*, двоичное изображение – на рис. 3, *в*, результат для измеренного диаметра – на рис. 3, *г*.

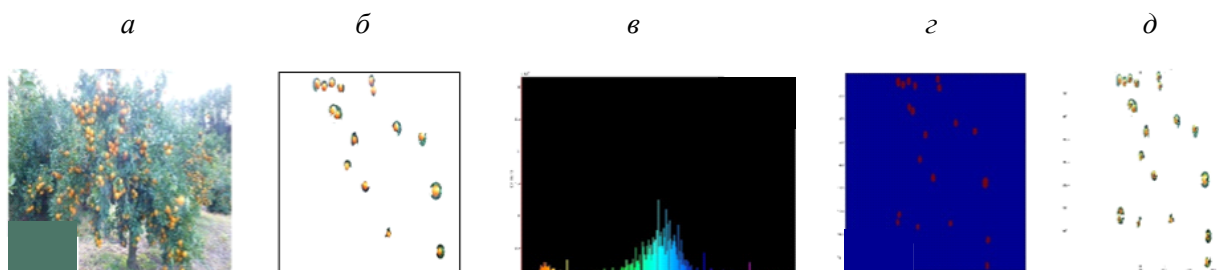


Рис. 2. Обработка изображений плодов:

а – оригинальное изображение цитрусового дерева в формате RGB; *б* – выбранные плоды цитрусовых; *в* – цветовая гистограмма пикселей; *г* – двоичное изображение распознанных плодов цитрусовых; *д* – результат изображения распознанных плодов цитрусовых

Fig. 2. Fruit image processing:

а – original image of a citrus tree in the RGB format; *б* – selected citrus fruits; *в* – coloured pixel histogram; *г* – binary image of identified citrus fruits; *д* – image result of identified citrus fruits



Рис. 3. Классификация качества плодов цитрусовых, основанная на их размере:

а – оригинальное изображение цитрусового дерева с выбранными плодами в формате RGB; *б* – RGB-изображение выбранного плода в формате RGB; *в* – двоичное изображение выбранных плодов; *г* – результат измеренного диаметра, периметра и площади выбранных плодов

Fig. 3. Classification of citrus fruit quality based on their size:

a – original image of a citrus tree with selected fruits in the RGB format; *б* – RGB image of the selected citrus fruit in the RGB format; *в* – binary image of selected citrus fruits; *г* – result of the measured diameter, perimeter and area of selected citrus fruits

Для того чтобы реально оценить размер цитрусовых плодов, определены отношения диаметра, периметра и значений площади в пикселях к реальному размеру (см. табл. 2). В 1 мм содержатся 1,25 пикселя. Кроме того, отношение периметра и площади в пикселях к фактическому размеру плодов определены как 1 мм = 4,15 пикселя по периметру = 72 пикселя по площади. Эти значения впоследствии использовали для определения классификации качества по размеру.

По правилу, указанному в табл. 3, 1860 плодов цитрусовых сгруппировали по диаметру, периметру и площади. Результа-

ты группировки сопоставили с результатами обзорных исследований по размеру цитрусовых, которые проводились Комиссией Чеджу по цитрусовым. Сравнение этих результатов показывает, что диаметр изображений плодов в пикселях соответствует истинному размеру цитрусовых плодов более точно, чем значения в пикселях периметра и площади.

Табл. 3. Группировка результатов

Table 3. Grouping the results

Группа	По диаметру (1 мм = 1,25 пикселей)		По периметру (1 мм = 4,15 пикселей)		По площади (1 мм = 72 пикселя)	
	Число плодов	%	Число плодов	%	Число плодов	%
0	144	8,57	103	6,13	394	23,45
1	215	12,80	155	9,23	158	9,40
2	157	9,35	118	7,02	113	6,73
3	128	7,62	74	4,40	72	4,29
4	129	7,68	108	6,43	54	3,21
5	116	6,90	92	5,48	63	3,75
6	123	7,32	103	6,13	61	3,63
7	210	12,50	193	11,49	110	6,55
8	145	8,63	163	9,70	112	6,67
9	181	10,77	215	12,80	128	7,62
10	132	7,86	356	21,19	415	24,70

Табл. 2. Результаты отношения диаметров в пикселях к фактическому размеру цитрусовых плодов

Table 2. Results of the ratio of diameter in pixels to the actual size of citrus fruits

Шар	Диаметр	Фактический размер, мм	Отношение
1	74,2	59	1,25
2	67,3	53	1,26
3	80,3	65	1,23
4	76,2	60	1,27
5	78,7	62	1,26
6	76,9	61	1,26
7	71,1	56	1,26
8	77,5	62	1,25
9	56,8	46	1,22
Среднее	73,2	58	1,25

ВЫВОДЫ

Разработан новый алгоритм компьютерной визуализации для классификации качества плодов цитрусовых, основанный на размере плодов с одного дерева. Свойства изображения: площадь, периметр и диаметр цитрусовых – измерены в пикселях. Для того чтобы точно оценить размер плодов цитрусовых, определены отношения значений диаметра, периметра и площади в пикселях к фактическому размеру.

Проведена группировка 1860 плодов цитрусовых на основе размера диаметра, периметра и площади в пикселях. Результаты группировки сопоставлены с результатами обзорных исследований по размеру, которые проводились Комиссией Чеджу по цитрусовым. Сравнительные результаты показывают, что диаметр изображений плодов в пикселях имеет более точный размер, чем другие два значения в пикселях, т.е. периметр и площадь.

REFERENCES

1. Anandkumar Patil, Ishwarappa R. K. Classification of crops using FCM segmentation and texture, color feature. *World Journal of Science and Technology*, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 74–78.
2. Suchitra A. Khoje, Bodhe S.K., Alpana Adsul. Automated Skin Defect Identification System for Fruit Grading Based on Discrete Curvelet Transform. *International Journal of Engineering and Technology*, 2013, vol. 5, no. 4, pp. 3251–3256.
3. Jyoti A. Kodagali, Balaji S. Computer Vision and Image Analysis Based Techniques for Automatic Characterization of Fruits – A Review. *International Journal of Food Science & Technology (IJFST)*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 1–14.
4. Khalid M. Alrajeh, Tamer. A.A. Alzohairy. Date Fruits Classification using MLP and RBF Neural Networks. *International Journal of Computer Applications* (0975-8887), 2012, vol. 41, no. 10.
5. Yudong Zhang and Lenan Wu. Classification of Fruits Using Computer Vision and a Multiclass Support Vector Machine. *Sensors*, 2012, no. 12, pp. 12489–12505.
6. Mahendran R, Jayashree GC, Alagusundaram K. Application of Computer Vision Technique on Sorting and Grading of Fruits and Vegetables. *Journal Food Processing & Technology*, 2011, no. 5, pp. 1–7.
7. Devrim Unaya, Bernard Gosselinb, Olivier Kleynenc, Vincent Leemansc, Marie-France Destainc, Olivier Debeird. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, vol. 75, pp. 204–212.
8. Elena Guzmán, Vincent Baeten, Juan Antonio Fernández Pierna, Josy A. García-Mesa. Using a Visible Vision System for On-Line Determination of Quality Parameters of Olive Fruits. *Food and Nutrition Sciences*, 2013, vol. 4, pp. 90–98.
9. Amir Alipasandi, Hosein Ghaffari, Saman Zohrabi Alibeyglu. Classification of three Varieties of Peach Fruit Using Artificial Neural Network Assisted with Image Processing Techniques. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 2013, vol., 9, no. 4, pp. 2179–2186.
10. Deepa P., Geethalakshmi S.N. A Comparative Analysis of Feature Extraction Methods for Fruit Grading Classifications. *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences*, 2013, pp. 221–225.
11. Sajad Sabzi, Payam Javadikia, Hekmatrabbani, Ali Adelkhani. Promote of Sorting System of Bam orange using an adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2013, vol., 14, no. 5, pp. 1529–1534.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Ульзии-Орших Дордж**, Центр современных информационных технологий и обработки изображений, Школа электроники и информатики, Национальный университет Чонбук; **Адрес для переписки:** 664-14, 1 Га, Деокджин-Донг, Джеонджу, Чонбук, 561-756, Южная Корея; e-mail: ulzii158@chonbuk.ac.kr; chaehs7288@gmail.com

Уранбайгаль Деиджибал, Факультет математики, физики и информационных технологий, Школа инженерных наук и технологий Монгольского университета наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: uranbaigal@mul.s.edu.mn

Хунсеок Чае, Центр современных информационных технологий и обработки изображений, Школа электроники и информатики, Национальный университет Чонбук

Лхагвадордж Бацамбуу, Факультет пищевой промышленности и гидротехники, Школа инженерных наук и технологий Монгольского университета наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: lkagvadorj@mul.s.edu.mn

Алтанхимег Бадарч, Факультет экономической статистики и математического моделирования, Школа экономики и бизнеса, Монгольский университет наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

Шинебайар Далхаа, Факультет математики, физики и информационных технологий, Школа инженерных наук и технологий Монгольского университета наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ulzii-Orshikh Dorj**, Center for Advanced Image and Information Technology, School of Electronics & Information Engineering, Chon Buk National University, address: 664-14, 1Ga, Deokjin-Dong, Jeonju, Chon Buk, 561-756, South Korea; e-mail: ulzii158@chonbuk.ac.kr; chaehs7288@gmail.com

Uranbaigal Dejidal, Department of Mathematics, Physics and Information Technology, School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia; e-mail: uranbaigal@mul.s.edu.mn

Hongseok Chae, Center for Advanced Image and Information Technology, School of Electronics & Information Engineering, Chon Buk National University

Lkhagvadorj Batsambu, Department of Food Processing and Hydraulic Engineering, School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia; e-mail: lkagvadorj@mul.s.edu.mn

Altanchimeg Badarch, Department of Economic Statistics and Mathematical Modeling, School of Economics and Business, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia; e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

Shinebayar Dalkhaa, Department of Mathematics, Physics and Information Technology, School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia, e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

*Дата поступления статьи 04.08.2018
Received by the editors 04.08.2018*



АЛЕКСАНДР ГАВРИЛОВИЧ ГЛОТОВ



Доктору ветеринарных наук, профессору, главному научному сотруднику, заведующему лабораторией биотехнологии – диагностический центр Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Александру Гавриловичу Глотову 6 августа 2018 г. исполнилось 60 лет.

Александр Гаврилович родился в селе им. Лазо Читинского района Читинской области в семье ветеринарных врачей. В 1976 г. поступил на ветеринарный факультет Красноярского сельскохозяйственного института. По окончании его в 1981 г. работал в Красноярской НИВС, после чего в 1982 г. поступил на очное обучение в аспирантуру Всесоюзного института экспериментальной ветеринарии им. Я.Р. Коваленко по специальности «ветеринарная вирусология».

В 1985 г. после защиты кандидатской диссертации Александр Гаврилович был направлен в Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск), где прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией. В 1999 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук по теме «Диагностика инфекционного ринотрахеита крупного рогатого скота методом молекулярной гибридизации и особенности проявления болезни в современных условиях ведения животноводства». В 2008 г. ему присвоено звание профессора.

Научная деятельность А.Г. Глотова посвящена ветеринарной вирусологии и эпизоотологии, разработке и усовершенствованию средств и методов диагностики вирусных и бактериальных болезней сельскохозяйственных животных на основе достижений биотехнологии и генной инженерии; изучению патогенеза вирусных и смешанных вирусно-бактериальных болезней и особенностей их проявления в современных условиях ведения интенсивного молочного и мясного животноводства, а также усовершенствованию мер профилактики и

борьбы с ними. Большая работа проводится по изучению молекулярной эпизоотологии герпес- и пестивирусов, а также бактерий семейства Pasteurellaceae в Сибири.

Под руководством А.Г. Глотова и при его непосредственном участии разработаны и прошли государственную регистрацию пять тест-систем на основе молекулярной гибридизации полимеразной цепной реакции для выявления и дифференциации вирусов инфекционного ринотрахеита, вирусной диареи, респираторно-синцитиальной инфекции и пастереллезов крупного рогатого скота.

Результаты научных разработок и исследований внедрены на племпредприятиях и хозяйствах Новосибирской, Тюменской, Омской, Томской, Кемеровской областях, Алтайском и Красноярском краях. Большая работа проведена по адаптации и разработке противоэпизоотических мероприятий при массовом завозе высокопродуктивного импортного скота в рамках Президентской программы «Развитие агропромышленного комплекса» в Тюменской области.

А.Г. Глотовым опубликовано более 260 научных работ, получены 35 авторских свидетельств и патентов на изобретения в РФ и Республике Казахстан, 24 методических рекомендации и пособия, 6 монографий. Подготовлены два доктора и девять кандидатов наук.

Опубликовано 237 статей в журналах, индексируемых в базе данных РИНЦ, 18 – Web of Science, 24 – Scopus. Индекс Хирша: РИНЦ – 14, Web of Science – 3, Scopus – 3.

Александр Гаврилович – член экспертного совета ВАК по зоотехническим и ветеринарным наукам с 2014 г.

Научная деятельность профессора А.Г. Глотова вносит существенный вклад в обеспечение эпизоотического благополучия по вирусным и бактериальным инфекциям крупного рогатого скота в Сибирском регионе.

Александр Гаврилович является «Заслуженным ветераном Сибирского отделения РАН» (2018 г.), награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени» (2011 г.), общественной медалью «За развитие биологической науки и промышленности» (2010 г.), медалью им. И.И. Сiniaгина (2014 г.), юбилейной медалью «40 лет Россельхозакадемии» (2010 г.), почетными грамотами Президиума Россельхозакадемии (2005 г.), администрации Новосибирской области (2000, 2005 гг.) и другими.

Руководство СФНЦА РАН и коллеги по работе сердечно поздравляют Александра Гавриловича с юбилеем, желают крепкого здоровья, новых творческих успехов, трудовых достижений, счастья и благополучия.

*Коллектив Сибирского федерального
научного центра агробιοтехнологий
Российской академии наук*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представляемая статья должна содержать новые, еще не опубликованные результаты научных исследований и соответствовать одной из следующих рубрик журнала:

Наименование рубрики	Группы специальностей научных работников в соответствии с Номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени
Земледелие и химизация	06.01.01 Общее земледелие и растениеводство
Растениеводство и селекция	06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений
Защита растений	06.01.07 Защита растений
Кормопроизводство	06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений 06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов
Животноводство и ветеринария	06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология 06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных
Механизация, автоматизация, моделирование и информационное обеспечение	05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства
Проблемы. Суждения	05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства 06.01.01 Общее земледелие и растениеводство 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений 06.01.07 Защита растений 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология 06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных 06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов

Для публикации статей аспирантов необходимо представить документ, подтверждающий обучение в аспирантуре. Обязательна рекомендация научного руководителя. Статьи аспирантов публикуются в рубриках:

Краткие сообщения	05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства 06.01.01 Общее земледелие и растениеводство 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений 06.01.07 Защита растений 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология 06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных 06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов
Из диссертационных работ (публикация статей аспирантов)	05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства 06.01.01 Общее земледелие и растениеводство 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений 06.01.07 Защита растений 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология 06.02.07 Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных 06.02.08 Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов

На публикацию представляемых в редакцию материалов требуются письменное разрешение и рекомендация руководства организации, на средства которой проводились работы. Авторы (соавторы) подписывают рукопись, подтверждая свое участие в выполнении представляемой работы и удостоверяя согласие с содержанием рукописи. Сведения об авторах (соавторах) заполняются согласно представленной анкете на русском и английском языках.

Анкета автора

- Фамилия, имя, отчество (полностью)
- Ученая степень
- Место работы (полное название организации и подразделения)
- Должность
- Почтовый адрес места работы
- Контактные телефоны (служебный, домашний, мобильный), e-mail
- Отдельно следует выделить автора, ответственного за связь с редакцией и указать контактные

e-mail и мобильный телефон

По представленной форме заполняется **Авторская справка** <http://sibvest.elpub.ru/>, в которой должно быть выражено согласие на открытое опубликование статьи в печатном варианте журнала и его электронной копии в сети Интернет.

Полный пакет документов (сопроводительное письмо, анкеты авторов, авторская справка, статья в двух экземплярах на одной стороне стандартного листа формата А4) направить по адресу: 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, а/я 463, научно-организационный отдел СФНЦА РАН.

Необходимо также предоставить электронный вариант рукописи по электронной почте: vestnik.nsk@ngs.ru. Запись на электронном носителе должна быть идентична оригиналу на бумаге. Текст оформляется в программе Word кеглем 14, шрифтом Times New Roman, с интервалом 1,5, все поля 2,0 см, нумерация страниц внизу и посередине.

Объем статьи, включая таблицы, иллюстрации и библиографию, не должен превышать 10 страниц компьютерного набора; статей, размещаемых в рубриках «Из диссертационных работ» и «Краткие сообщения», – не более 4 страниц.

Порядок оформления статьи: УДК, заголовок статьи (не более 70 знаков), инициалы и фамилия автора, ученое звание и степень, должность, полное название научного учреждения, в котором проведены исследования, а также его адрес, адрес электронной почты автора, реферат на русском и английском языках (не менее 1500–2000 знаков каждый), ключевые слова (5–10), основной текст статьи, библиографический список (не менее 15 источников).

Реферат

Реферат является кратким и последовательным изложением материала статьи по основным разделам и должен отражать основное содержание, следовать логике изложения материала и описания результатов в статье с приведением конкретных данных.

Примерный план статьи, представляемой для опубликования:

- постановка проблемы, цель, задачи исследования;
- условия, методы (методика) исследований, описание объекта, место и время проведения исследования;
- результаты исследования и их обсуждение;
- заключение или выводы.

План статьи <http://sibvest.elpub.ru/>

Библиографический список должен быть оформлен в виде общего списка в порядке цитирования: в тексте ссылка на источник отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на тех языках, на которых она издана.

В список литературы включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов и монографии), упоминающиеся в тексте статьи. Нежелательно включать в список литературы авторефераты, диссертации, учебники, учебные пособия, ГОСТы, материалы конференций, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах. Если необходимо сослаться на такую информацию, следует поместить источник в сноску.

Сноска

¹Климова Э.В., Андреева О.Т., Темникова Г.П. Пути стабилизации кормопроизводства Забайкалья // Проблемы и перспективы совершенствования зональных систем земледелия в современных условиях: материалы науч.-практ. конф. (Чита, 16–17 октября 2008 г.). Чита, 2009. С. 36–39.

Примеры оформления списка литературы

Монография

Климова Э.В. Полевые культуры Забайкалья: монография. Чита: Поиск, 2001. 392 с.

Klimova E.V. *Polevye kul'tur Zabaikal'ya* [Fieldcrops of Zabaikalya]. Chita, Poisk Publ., 2001, 392 p. (In Russian).

Часть книги

Холмов В.Г. Минимальная обработка кулисного пара под яровую пшеницу при интенсификации земледелия в южной лесостепи Западной Сибири // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. С. 230–235.

Kholmov V.G. Minimal'naya obrabotka kulisnogo para pod yarovuyu pshenitsu pri intensifikatsii zemledeliya v yuzhnoilesostepi Zapadnoi Sibiri. [Minimum tillage of coulisse-strip fallow for spring wheat with intensification of arable agriculture in southern forest-steppe of Western Siberia]. *Resursosberegayushchie sistemy obrabotki pochvy*. [Resource – saving tillage systems]. M.: Agropromizdat [Agro-industrial press], 1990, pp. 230–235. (In Russian).

Периодические издания

Пакуль А.Л., Лапшинов Н.А., Божанова Г.В., Пакуль В.Н. Технологические качества зерна мягкой яровой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 4. С. 27–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4

Pakul A.L., Lapshinov N.A., Bozhanova G.V., Pakul V.N. Technological grain qualities of spring common wheat depending on the system of soil tillage [Technological grain qualities of spring common wheat depending on the system of soil tillage]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 4. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4

Формулы должны быть напечатаны четко. Необходимо соблюдать различия между одинаковыми по начертанию прописными и строчными буквами, подчеркивая прописные буквы двумя черточками снизу. Латинские буквы размечаются волнистой чертой снизу.

Таблицы и рисунки должны иметь порядковый номер и название. Диаграммы следует представлять в программе Excel (с базой данных, на основе которой они построены). На осях абсцисс и ординат графиков указываются величины и единицы измерения. Не рекомендуется рисунки загромождать надписями, лучше детали занумеровать и расшифровать в подрисовочной подписи или тексте статьи. Фотографии представляются в формате *.jpg, *.tif. Всем иллюстрациям нужно дать сквозную нумерацию. Ссылки на иллюстративный материал приводятся в тексте статьи в круглых скобках. Необходимо избегать повторений данных в таблицах, графиках и в тексте статьи.

Корректura дается авторам для контроля. Стилистическая правка, дополнения и сокращения не допускаются.

Число публикаций одного автора в номере журнала не должно превышать двух, при этом вторая статья допустима лишь в соавторстве.

Плата за публикацию статей в журнале с аспирантов не взимается, для иных авторов статьи в журнале публикуются на платной основе. После прохождения рецензирования рукописи редакция направляет в адрес организации или автора счет (квитанцию) для оплаты.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым передает авторские права на издание этой статьи СФНЦА РАН.

Редакция оставляет за собой право не регистрировать рукописи, не отвечающие настоящим требованиям.

Все рукописи, представляемые для публикации в журнале, проходят рецензирование, по результатам которого редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материалов.

THE SCIENTIFIC JOURNAL

SIBERIAN HERALD OF AGRICULTURAL SCIENCE

FOUNDERS: SIBERIAN FEDERAL SCIENTIFIC CENTRE OF AGRO-BIOTECHNOLOGIES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
ESTABLISHED IN 1971

Volume 48, No 5 (264)



2018
september – october

Editor-in-Chief A.S. DONCHENKO, RAS Member
Deputy Editor-in-Chief O.N. ZHITELEVA

EDITORIAL BOARD:

V.V. Alt	RAS Member, Novosibirsk, Russia
O.S. Afanasenko	RAS Member, Saint-Petersburg, Russia
A.N. Vlasenko	RAS Member, Novosibirsk, Russia
N.G. Vlasenko	RAS Member, Novosibirsk, Russia
N.P. Goncharov	RAS Member Novosibirsk, Russia
I.M. Gorobey	Doctor of Science in Agriculture, Novosibirsk, Russia
M.I. Gulyukin	RAS Member, Moscow, Russia
V.N. Delyagin	Doctor of Science in Engineering, Novosibirsk, Russia
I.M. Donnik	RAS Member, Moscow, Russia
N.A. Donchenko	Doctor of Science in Veterinary Medicine, Novosibirsk, Russia
N.M. Ivanov	Doctor of Science in Engineering, Novosibirsk, Russia
A.Yu. Izmailov	RAS Member, Moscow, Russia
V.K. Kalichkin	Doctor of Science in Agriculture, Novosibirsk, Russia
N.I. Kashevarov	RAS Member, Novosibirsk, Russia
S.N. Mager	Doctor of Science in Biology, Novosibirsk, Russia
V.A. Moroz	RAS Member, Stavropol, Russia
S.P. Ozornin	Doctor of Science in Engineering, Chita, Russia,
V.L. Petukhov	Doctor of Science in Biology, Novosibirsk, Russia
R.I. Polyudina	Doctor of Science in Agriculture, Novosibirsk, Russia
V.A. Soloshenko	RAS Member, Novosibirsk, Russia
N.A. Surin	RAS Member, Krasnoyarsk, Russia
I.F. Khramtsov	RAS Member, Omsk, Russia
I.N. Sharkov	Doctor of Science in Biology, Novosibirsk, Russia

Foreign Members of Editorial Board:

V.V. Azarenko	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Science in Engineering, Academician-Secretary of the Department of Agrarian Sciences NASB,insk, Belarus
B. Byambaa	Member of the Mongolian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine, President of the Mongolian Academy of Agricultural Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia
A.M. Nametov	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University, Rector, Astana, Kazakhstan
V. Nikolov	Professor Doctor, Chairman of the Agricultural Academy of the Republic of Bulgaria, Sofia, Bulgaria.

The academic journal “Siberian Herald of Agricultural Sciences” is enlisted in Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science.

The journal is presented in the international database AGRIS, and put in the catalogue Ulrich’s Periodicals Directory, Bowker, USA.



www.sibvest.elpub.ru



Editors *E.V. Mosunova, G.N. Yagupova*
Corrector *V.E. Selianina*, Desktop Publisher *N.U. Borisko*
Translator *E.A. Pomanova*

Certificate PI FS77-64832 issued by the Federal Service for Supervision of Media, Communications and Information Technologies on February 2, 2016

Publisher: Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District,
Novosibirsk Region, 630501, Russia. Tel/fax: +7-383-348-37-62
e-mail: vestnik.nsk@ngs.ru; <http://www.sorashn.ru>

THE SCIENTIFIC JOURNAL

SIBERIAN HERALD OF AGRICULTURAL SCIENCE

FOUNDERS: SIBERIAN FEDERAL SCIENTIFIC CENTRE OF AGRO-BIOTECHNOLOGIES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
ESTABLISHED IN 1971

Volume 48, No 5 (264)



2018
september – october

Editor-in-Chief A.S. DONCHENKO, RAS Member
Deputy Editor-in-Chief O.N. ZHITELEVA

EDITORIAL BOARD:

V.V. Alt	RAS Member, Novosibirsk, Russia
O.S. Afanasenko	RAS Member, Saint-Petersburg, Russia
A.N. Vlasenko	RAS Member, Novosibirsk, Russia
N.G. Vlasenko	RAS Member, Novosibirsk, Russia
N.P. Goncharov	RAS Member, Novosibirsk, Russia
I.M. Gorobey	Doctor of Science in Agriculture, Novosibirsk, Russia
M.I. Gulyukin	RAS Member, Moscow, Russia
V.N. Delyagin	Doctor of Science in Engineering, Novosibirsk, Russia
I.M. Donnik	RAS Member, Moscow, Russia
N.A. Donchenko	Doctor of Science in Veterinary Medicine, Novosibirsk, Russia
N.M. Ivanov	Doctor of Science in Engineering, Novosibirsk, Russia
A.Yu. Izmailov	RAS Member, Moscow, Russia
V.K. Kalichkin	Doctor of Science in Agriculture, Novosibirsk, Russia
N.I. Kashevarov	RAS Member, Novosibirsk, Russia
S.N. Mager	Doctor of Science in Biology, Novosibirsk, Russia
V.A. Moroz	RAS Member, Stavropol, Russia
S.P. Ozornin	Doctor of Science in Engineering, Chita, Russia
V.L. Petukhov	Doctor of Science in Biology, Novosibirsk, Russia
R.I. Polyudina	Doctor of Science in Agriculture, Novosibirsk, Russia
V.A. Soloshenko	RAS Member, Novosibirsk, Russia
N.A. Surin	RAS Member, Krasnoyarsk, Russia
I.F. Khramtsov	RAS Member, Omsk, Russia
I.N. Sharkov	Doctor of Science in Biology, Novosibirsk, Russia

Foreign Members of Editorial Board:

V.V. Azarenko	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Science in Engineering, Academician-Secretary of the Department of Agrarian Sciences NASB, Minsk, Belarus
B. Byambaa	Member of the Mongolian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine, President of the Mongolian Academy of Agricultural Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia
A.M. Nametov	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Zhanger Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University, Rector, Astana, Kazakhstan
V. Nikolov	Professor Doctor, Chairman of the Agricultural Academy of the Republic of Bulgaria, Sofia, Bulgaria

The academic journal "Siberian Herald of Agricultural Sciences" is enlisted in Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science.

The journal is presented in the international database AGRIS, and put in the catalogue Ulrich's Periodicals Directory, Bowker, USA.



www.sibvest.elpub.ru



Editors E.V. Mosunova, G.N. Yagupova
Corrector V.E. Selianina, Desktop Publisher N.U. Borisko
Translator E.A. Pomanova

Certificate PI FS77-64832 issued by the Federal Service for Supervision
of Media, Communications and Information Technologies on February 2, 2016

Publisher: Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District,
Novosibirsk Region, 630501, Russia. Tel/fax: +7-383-348-37-62
e-mail: vestnik.nsk@ngs.ru; <http://www.sorashn.ru>