

АГРАРНАЯ НАУКА ЕВРО-СЕВЕРО-ВОСТОКА

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

Научный журнал
Федерального аграрного
научного центра
Северо-Востока
имени Н.В. Рудницкого



Том 20
№ 1
2019

Vol. 20
no. 1
2019

В каждом номере публикуются научные статьи по направлениям:

- | | | |
|--|--|--|
| ☐ обзоры | ☐ земледелие, агрохимия, мелиорация | ☐ механизация |
| ☐ растениеводство | ☐ зоотехния | ☐ экономика |
| ☐ переработка | ☐ ветеринарная медицина | ☐ дискуссионные материалы |
| ☐ кормопроизводство | ☐ охотоведение, звероводство | ☐ хроника |
| | | ☐ рецензии |

16+

СОДЕРЖАНИЕ

Учредитель журнала

Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»

Издание зарегистрировано
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

Журнал включен в **Перечень
рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты
диссертаций на соискание ученых
степеней кандидата и доктора наук.**

Журнал включен в базы данных РИНЦ,
AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI)
на ведущей мировой платформе
Web of Science

Полные тексты статей доступны на сайтах
электронных научных библиотек:
eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>;
ЭНЦХБ: <http://www.cnsnb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA: <https://cyberleninka.ru>;
журнала: <http://www.agronauka-sv.ru>

Журнал включен в Реферативный журнал
и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале публикуются
в Международной справочной системе
по периодическим и продолжающимся
изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Оформить подписку можно
в любом почтовом отделении
по каталогу «Пресса России»
подписной индекс 58391

Электронная версия журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

ОБЗОРЫ

Бакулина А.В., Широких И.Г.

Подходы к повышению продуктивности
и адаптивности ячменя с помощью техноло-
гий генетической модификации..... 5

РАСТЕНИЕВОДСТВО

Волкова Л.В., Амунова О.С.

Наследование признаков аллюмоустойчивости
проростков яровой пшеницы в условиях
рулонной культуры..... 20

Юй Ли, Ци Ван

Развитие системы сохранения грибных
ресурсов «Один район, один гербарий и пять
банков» и ее применение на Цинхай-
Тибетском плато..... 29

ОХОТОВЕДЕНИЕ

Андреев М.Н., Гребнев И.А.

Концептуальные основы развития
охотничьего хозяйства Кировской области..... 36

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» 4.0 Всемирная



Главный редактор
академик РАН, профессор **В.А. Сысеев**

Редакционный совет:

Н.Р. Андреев, д.т.н., чл.-корр. РАН, г. Москва, Россия,
В.А. Багиров, д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, г. Москва, Россия,
А.В. Баранов, д.б.н., профессор, г. Кострома, Россия,
Г.А. Баталова, д.с.-х.н., профессор, академик РАН, г. Киров, Россия,
А.М. Гурьянов, д.с.-х.н., профессор, г. Саранск, Россия,
С.В. Дёгтева, д.б.н., г. Сыктывкар, Россия,
Э.Д. Джавадов, д.в.н., профессор, академик РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
С.П. Еремин, д.в.н., профессор, г. Нижний Новгород, Россия,
Д.А. Иванов, д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, г. Тверь, Россия,
П.П. Казакевич, д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь,
А.И. Костяев, д.э.н., профессор, академик РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
В.М. Косолапов, д.с.-х.н., академик РАН, г. Москва, Россия,
И.М. Куликов, д.э.н., профессор, академик РАН, г. Москва, Россия,
А.В. Леднев, д.с.-х.н., г. Ижевск, Россия,
Ли Юй, профессор, иностранный член РАН, г. Чанчунь, Китай,
В.Г. Мохнаткин, д.т.н., профессор, г. Киров, Россия,
Г.Н. Никонова, д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
Ю.В. Пашкина, д.в.н., профессор, г. Нижний Новгород, Россия,
К. Поутанен, профессор, г. Эспоо, Финляндия,
В. Романюк, д.т.н., профессор, г. Варшава, Польша,
И.В. Савченко, д.б.н., профессор, академик РАН, г. Москва, Россия,
А.Г. Самоделкин, д.б.н., профессор, г. Нижний Новгород, Россия,
В.Г. Сафонов, д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, г. Киров, Россия,
П.Н. Сисягин, д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, г. Нижний Новгород, Россия,
В.И. Титова, д.с.-х.н., профессор, г. Нижний Новгород, Россия,
А.Н. Токарев, д.в.н., г. Санкт-Петербург, Россия,
Ю.А. Цой, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, г. Москва, Россия,
Чанчжун Рен, иностранный член РАН, г. Байчен, Китай,
Г.С. Юнусов, д.т.н., профессор, г. Йошкар-Ола, Россия

Редакционная коллегия:

Н.Е. Рубцова (зам. гл. редактора), к.с.-х.н., доцент, г. Киров, Россия,
Н.Н. Соболева (отв. секретарь), г. Киров, Россия,
Т.В. Агалакова, к.б.н., г. Киров, Россия,
А.З. Брандорф, д.с.-х.н., г. Киров, Россия,
А.И. Бурков, д.т.н., профессор, г. Киров, Россия,
Н.В. Веселова, к.с.-х.н., г. Киров, Россия,
А.А. Ивановский, д.в.н., г. Киров, Россия,
Л.М. Козлова, д.с.-х.н., г. Киров, Россия,
О.В. Костенко, к.э.н., доцент, г. Киров, Россия,
О.В. Рябова, к.б.н., г. Пермь, Россия,
И.А. Устюжанин, к.с.-х.н., г. Киров, Россия,
В.А. Фигурин, д.с.-х.н., г. Киров, Россия,
Т.К. Шешегова, д.б.н., доцент, г. Киров, Россия,
И.Г. Широких, д.б.н., г. Киров, Россия

Адрес издателя и редакции:
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25; тел. (8332) 33-07-21

www. agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция, верстка **И.В. Кодочигова**

Макет обложки **Н.Н. Соболева**

Подписано к печати 28.02. 2019 г.

Дата выхода в свет 26.03.2019 г.

Формат 60x84^{1/8}. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 11,16. Тираж 100 экз. Заказ 9.

Цена свободная

Отпечатано с оригинал-макета
Типография ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

МЕХАНИЗАЦИЯ

**Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В.,
Куклин В.А.**

Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы..... 48

**Иванов Ю.А., Скоркин В.К., Гриднев П.И.,
Ларкин Д.К.**

Интеллектуальная система управления и обеспечения эффективного производства продукции молочного скотоводства умной фермы..... 57

Рылов А.А., Савиных П.А., Шулятьев В.Н.

Дифференцированный учет молока при доении в молокопровод..... 68

**Вардал Витольд Ян, Барвицкий Ян, Борек
Кинга, Мазур Камила**

Производство биогаза как элемент устойчивого развития сельских территорий в ЕС и Польше..... 76

Сибирёв А.В., Дорохов А.С., Аксенов А.Г.

Цифровизация машинной технологии уборки лука искусственными нейронными сетями.... 84

ЮБИЛЕИ

Юбилей Ли Юй..... 92

Юнусову Губейдулле Сибяттуловичу – 75 лет! 93

Юбилей Вацлава Романюка..... 94

ХРОНИКА

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Лев Васильевич Христофоров..... 95

Публикация уточнений..... 96

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST – № 1 (20) – 2019 г.

The Headings of the Journal:

- | | | |
|--|---|--|
| ☐ review | ☐ agriculture, agrochemistry, amelioration | ☐ mechanization |
| ☐ plant growing | ☐ zootechny | ☐ economics |
| ☐ fodder production | ☐ veterinary medicine | ☐ discussion papers |
| ☐ fodder production | ☐ fur farming and hunting | ☐ current events |
| | | ☐ current events |

16+

CONTENTS

The founder of the journal

Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky

The publication is registered by the Federal Service
for Supervision of Communications, Information
Technology and Mass Media

Certificate PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

The Journal included in the List of peer-reviewed
scientific publications, where research results from
«Candidate of Science» and «Doctor of Science»
academic degree dissertations have to be published

The journal is included into Russian Index
of Science Citation (RINC), AGRIS, Russian
Science Citation Index (RSCI) on the world's
leading platform Web of Science

The full texts of articles are available on the
websites of the following journals and scientific
electronic libraries: eLIBRARY.RU, Electronic
Scientific Agricultural Library, CYBERLENINKA,
Google Scholar

Information on the journal is published in the
International reference system on periodic and serial
publications «Ulrich's Periodicals Directory».

The journal is included into Russian Index
of Science Citation (RINC), Abstract journal
and databases of All-Russian Institute of Scientific
and Technical Information

You can subscribe in any post office
According to the catalog "Press of Russia"
subscription index 58391

Electronic version of the magazine:
<http://www.agronauka-sv.ru>

REVIEWS

Bakulina A.V., Shirokikh I.G.

Increasing of barley productivity and adaptability
by using genetic modification technologies..... 5

PLANT GROWING

Volkova L.V., Amunova O.S.

Inheritance of aluminum resistance characteristics
in spring wheat sprouts under conditions of a roll
culture..... 20

Yu Li, Qi Wang

The development of the Fungal Resources Conser-
vation System «One District, One Herbarium and
Five Banks» and its application on Qinghai-Tibet
Plateau..... 29

GAME MANAGEMENT

Andreev M.N., Grebnev I.A.

Conceptual framework for the development
of hunting industry in the Kirov region..... 36

All the materials of the «Agricultural Science Euro-North-East» journal are available
under Creative Commons «Attribution» 4.0 license.



Vasily A. Sysuev,

Dr. Sci. Tech., the professor, academician of RAS

Editorial council:

Nikolay R. Andreev, Dr. Sci. Tech., corresponding member of RAS, Moscow, Russia, **Vugar A. Bagirov**, Dr. Sci. Biol., Professor, corresponding member of RAS, Moscow, Russia, **Aleksandr V. Baranov**, Dr. Sci. Biol., the professor, Kostroma, Russia, **Galina A. Batalova**, Dr. Sci. Agric., the professor, academician of RAS, Kirov, Russia, **Alexander M. Guryanov**, Dr. Sci. Agric., the professor, Saransk, Russia, **Svetlana V. Degteva**, Dr. Sci. Biol., Syktyvkar, Russia, **Eduard D. Dzhavadov**, Dr. Sci. in Veterinary, professor, academician of RAS, St. Petersburg, Russia, **Sergey P. Eremin**, Dr. Sci. in Veterinary, professor, Nizhny Novgorod, Russia, **Dmitriy A. Ivanov**, Dr. Sci. Agric., the professor, corresponding member of RAS, Tver, Russia, **Petr P. Kazakevich**, Dr. Sci. Tech., the professor, corresponding member of Belarus NASMinsk, Republic of Belarus, **Aleksandr I. Kostjaev**, Dr. Sci. in Economics, the professor, academician of RAS, St. Petersburg, Russia, **Vladimir M. Kosolapov**, Dr. Sci. Agric., the professor, academician of RAS, Moscow, Russia, **Ivan M. Kulikov**, Dr. Sci. in Economics, the professor, academician of RAS, Moscow, Russia, **Andrei V. Lednev**, Dr. Sci. in Agriculture, associate professor, Izhevsk, Russia, **Li Yu**, the professor, a foreign member of RAS, Changchun, China, **Viktor G. Mokhnatkin**, Dr. Sci. Tech., the professor, Kirov, Russia, **Galina N. Nikonova**, Dr. Sci. in Economics, the professor, corresponding member of RAS, St. Petersburg, Russia, **Yulia V. Pashkina**, Dr. Sci. in Veterinary, professor, Nizhny Novgorod, Russia, **Kaisa Poutanen**, Academy Professor, Dr.Sc. (Tech.), Espoo, Finland, **Wazlaw Romanjuk**, Dr. Sci. Tech., the professor, Warsaw, Poland, **Ivan V. Savchenko**, Dr. Sci. Biol., the professor, academician of RAS, Moscow, Russia, **Aleksandr G. Samodelkin**, Dr. Sci. Biol., the professor, Nizhny Novgorod, Russia, **Vladimir G. Safonov**, Dr. Sci. Biol., the professor, corresponding member of RAS, Kirov, Russia, **Pavel N. Sisjagin**, Dr. Sci. in Veterinary, the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod, Russia, **Vera I. Titova**, Dr. Sci. in Agriculture, professor, Nizhny Novgorod, Russia, **Anton N. Tokarev**, Dr. Sci. in Veterinary, St. Petersburg, Russia, **Yu.A. Tsoy**, Dr. Sci. Tech., the professor, corresponding member of RAS, Moscow, Russia, **Changzhong Ren** President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences, a foreign member of RAS, Baicheng, China, **Gubeidulla S. Junusov**, Dr. Sci. Tech., the professor, Yoshkar-Ola, Russia

Editorial Board:

The deputy editor-in-chief – **Natalya E. Rubtsova**, Cand. Agric. Sci., the senior lecturer. Kirov, Russia, **The responsible secretary** – **Natalia N. Soboleva**, Kirov, Russia, **Tatyana V. Agalakova**, Cand. Biol. Sci., Kirov, Russia, **Anna S. Brandorf**, Dr. Agric. Sci., Kirov, Russia, **Aleksandr I. Burkov**, Dr. Sci. Tech., Kirov, Russia, **Valentin A. Figurin**, Dr. Agric. Sci., Kirov, Russia, **Aleksandr A. Ivanovsky**, Dr. Sci. Biol., Kirov, Russia, **Lyudmila M. Kozlova**, Dr. Agric. Sci., Kirov, Russia, **Olga V. Kostenko**, Cand. Sci. in Economics, Kirov, Russia, **Olga V. Ryabova**, Cand. Biol. Sci., associate Professor of Microbiology, Perm, Russia, **Igor A. Ustjuzhanin**, Cand. Agric. Sci. Kirov, Russia, **Natalya V. Veselova**, Cand. Agric. Sci., Kirov, Russia, **Tatyana K. Sheshegova**, Dr. Sci. Biol., Kirov, Russia, **Irina G. Shirokich**, Dr. Sci. Biol., Kirov, Russia

Publisher and editorial address: 610007, Kirov, ul. Lenina, 166a, tel./fax (8332) 33-10-25; tel. (8332) 33-07-21

www. agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Technical edition, layout I.V. Kodochigova
Cover layout N.N. Soboleva

Signed for printing 28.02.2019.
Date of exit to light 26.03.2019.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper. Cond. peps. l. 11.16.
Circulation 100 copies. Order 9.

Price available. Printed from the layout Typography FGBNU
FANTS Northeast. 610007, Kirov, ul. Lenina, 166a

MECHANIZATION

Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A.

Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters..... 48

Ivanov Yu.A., Skorkin V.K., Gridnev P.I., Larkin D.K.

Intelligent system of management and providing dairy cattle production effectiveness on a smart farm..... 57

Rylov A.A., Savinykh P.A., Shulyatyev V.N.

The differentiated milk recording when milking into the milk line..... 68

Wardal Witold Jan, Barwicki Jan, Borek Kinga, Mazur Kamila

Biogas production as an element of sustainable development of rural areas in EU and Poland..... 76

Sibiriev A.V., Dorokhov A.S., Aksenov A.G.

Digital transformation of machine technology for onion harvesting using the theory of artificial neural networks..... 84

JUBILEE

Jubilee Yu Li..... 92

Jubilee G.S. Yunusov – 75 years!..... 93

Jubilee V. Romanyuk..... 94

CHRONICLE

IN MEMORY

L.V. Khristoforov..... 95

Publication of refinements..... 96

ОБЗОРЫ / REVIEWS

«В результате традиционной селекции генетический потенциал сельскохозяйственных культур доведен до физиологического предела. Зерновые и другие основные культуры уже практически исчерпали свои генетические возможности роста урожайности. Страны с высокоразвитым сельским хозяйством достигли естественных, природных пределов»

Лестер Рассел Браун, 2011

УДК 633.16:575.2

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.05-19

Подходы к повышению продуктивности и адаптивности ячменя с помощью технологий генетической модификации*

© 2019. А.В. Бакулина, И.Г. Широких

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В обзоре отражены достигнутые к настоящему времени успехи в изучении молекулярных механизмов стрессоустойчивости ячменя для улучшения его хозяйственно ценных признаков как культуры сельскохозяйственного производства. Описаны возможные генно-инженерные подходы, развиваемые в целях повышения устойчивости культуры к абиотическим стрессам. Особое внимание уделено совершенствованию генома путем интеграции гетерологичных генов. Перечислены перспективные для практического осуществления трансформаций целевые гены и промоторы, проанализирована их эффективность в зависимости от других факторов трансформации. Освещены новейшие технологии целенаправленного мутагенеза, применяемые для геномного редактирования (системы ZFN, TALEN и CRISPR/Cas9). Приведены примеры создания с помощью генных технологий новых форм ячменя, отличающихся повышенной засухоустойчивостью, толерантностью к почвенной кислотности и токсичности алюминия, солевому стрессу. Показано, что генетическая модификация позволяет не только ускорить экспериментальный процесс создания новых генотипов, но и представляет собой исследовательский инструмент для анализа и выяснения функций генов: с помощью техник сайленсинга и РНК-интерференции было выявлено и идентифицировано большое количество последовательностей, кодирующих ценные признаки ячменя. Обсуждаются перспективы развития постгеномных технологий для использования в практической селекции этой культуры.

Ключевые слова: ячмень, стрессоустойчивость, постгеномная селекция, генная трансформация, геномное редактирование

Для цитирования: Бакулина А.В., Широких И.Г. Подходы к повышению продуктивности и адаптивности ячменя с помощью технологий генетической модификации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):05-19. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.05-19.

Increasing of barley productivity and adaptability by using genetic modification technologies

© 2019. A.V. Bakulina, I.G. Shirokikh

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The review presents the achievements in the research of barley stress tolerance molecular mechanisms to improve its economically valuable traits as a crop of agricultural production. Possible genetic engineering approaches developed in order to increase the barley resistance to abiotic stresses have been described. Special attention is paid to the genome improvement through the integration of heterologous genes. The targeted genes and promoters perspective for transformations, their efficiency in dependence to other transformation factors have been summarized and analyzed. The latest technologies of targeted mutagenesis used for genome editing (ZFN, TALEN and CRISPR/Cas9 systems) are observed. The examples of creation of new barley forms with increased resistance to drought, soil acidity, aluminum toxicity and salt stress by using gene technologies are given. It is shown that genetic modification allows not only to accelerate the experiment process of new genotypes creation, but also represents a research tool for the analysis and identification of gene functions. A large number of sequences

*Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук по заданию 0767-2019-0093 «Разработка и реализация фундаментальных научно-методических подходов мобилизации, изучения, создания (в т.ч. с использованием биотехнологий) и поддержания уникальных природных и экспериментальных генетических ресурсов яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овес); моделей сортов с повышенной продуктивностью и устойчивостью к действию стрессовых биотических и абиотических факторов, с улучшенными селекционно-ценными признаками; технологии управления продукционным процессом с учетом эдафических и биотических стрессовых факторов европейского Северо-Востока России, локального и глобального изменения климата для решения актуальных задач обеспечения импортозамещения и улучшения качества питания населения»

encoding valuable traits of barley were identified by means of silencing and RNA interference techniques. The prospects of development of post-genomic technologies for use in practical breeding of this culture are discussed.

Key words: *barley, stress tolerance, post-genomic selection, genetic transformation, genome editing*

For citation: Bakulina A.V., Shirokikh I.G. Increasing of barley productivity and adaptability by using genetic modification technologies. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1): 05-19. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.05-19

В результате выведения новых высокопродуктивных и низкорослых сортов пшеницы и риса в сельском хозяйстве ряда стран Азии и Латинской Америки в середине 1960-х годов был достигнут прорыв, известный как «зеленая революция». Благодаря селекции сортов интенсивного типа в странах третьего мира была не только преодолена угроза голода, но развивающиеся страны смогли полностью обеспечить себя продовольствием. За вклад в осуществление «зелёной революции» американский агроном-селекционер Норман Борлоуг был удостоен Нобелевской премии мира 1970 года. В своей Нобелевской лекции учёный подчёркивал, что «зеленая революция» позволила достичь лишь временного успеха в войне с голодом, которую ведет человечество, она дала людям передышку. Сегодня ученый убежден: человечество уже располагает технологиями (либо полностью готовыми к применению, либо находящимися в завершающей стадии разработки), способными надежно прокормить 10 млрд человек [1].

Действительно, селекция, направленная на создание интенсивных сортов, привела к тому, что продуктивность основных культур достигла своего физиологического предела. Зерновые и ряд других культур уже практически исчерпали свои генетические возможности роста урожайности. Между тем, на практике реализуется лишь 30% урожайности, заложенной в генетическом потенциале растений, из-за потерь, вызванных болезнями, вредителями и абиотическими стрессами [2]. Кроме того, успехи «зеленой революции» привели к беспрецедентному ухудшению глобальной экологической обстановки вследствие ирригационных мероприятий и загрязнения почв пестицидами. Значительно возросла частота экстремальных по погодным условиям лет, а современный период считается периодом неустойчивого (аномального) климата. Потери в сельском хозяйстве США и России от различных абиотических стрессов составляют в общих потерях до 70-80%. В структуре площадей, подвергнутых действию разнообразных абиотических факторов, в мире наибольшую долю занимают почвы с дефицитом элементов питания (39%) (рис. 1). На втором месте по распространенности стрессов в растениеводстве – воздействие низких

температур (26%), далее следуют дефицит влаги (16%), периодическое подтопление и анаэробность почв (10%), почвенная кислотность и засоление (6%) [3]. В дальнейшем ситуация с распространенностью абиотических и эдафических стрессов будет только усугубляться. Поэтому вполне закономерно, что вторую «зеленую революцию», о которой заговорили еще в 70-е годы прошлого столетия, связывают, главным образом, с решением проблемы стрессов сельскохозяйственных растений. Потребуется немалые усилия как традиционной селекции, так и современной сельскохозяйственной биотехнологии, для того чтобы добиться темпов роста урожайности основных продовольственных культур, достаточных, чтобы прокормить растущее население Земли [4].

Среди зерновых культур ячмень по площади посевов занимает четвертое место после пшеницы, риса и кукурузы. В сезоне 2017-2018 гг. мировые посевные площади ячменя составили 48,1 млн га, а в Российской Федерации – 7,85 млн га [5]. Наша страна является мировым лидером по производству зерна ячменя – 20,6 млн тонн в 2017 г. [6] (рис. 2).

Несмотря на то, что среди зарегистрированных на сайте Международной службы по мониторингу за применением агробиотехнологии (ISAAA) есть допущенные для использования в сельском хозяйстве трансгенные линии наиболее распространенных зерновых культур: рис, кукуруза и пшеница, ячменя среди них пока нет [7].

Развитию геномной инженерии (ГИ) ячменя в значительной мере должны способствовать успехи в расшифровке генома этой культуры. Первое сообщение о создании для ячменя генетической карты высокой плотности появилось в 2012 г. [8], а в 2016 г., с помощью методов секвенирования нового поколения, расшифровка генома *H. vulgare* была практически завершена [9]. Новые сведения о структуре и функциях более 39 тыс. генов ячменя открыли дорогу для комплексного функционального анализа работы генных сетей, в том числе связанных с агрономически важными признаками этой культуры. Полагают, что эти исследования должны способствовать существенному увеличению продуктивности и устойчивости ячменя к стрессам [10].

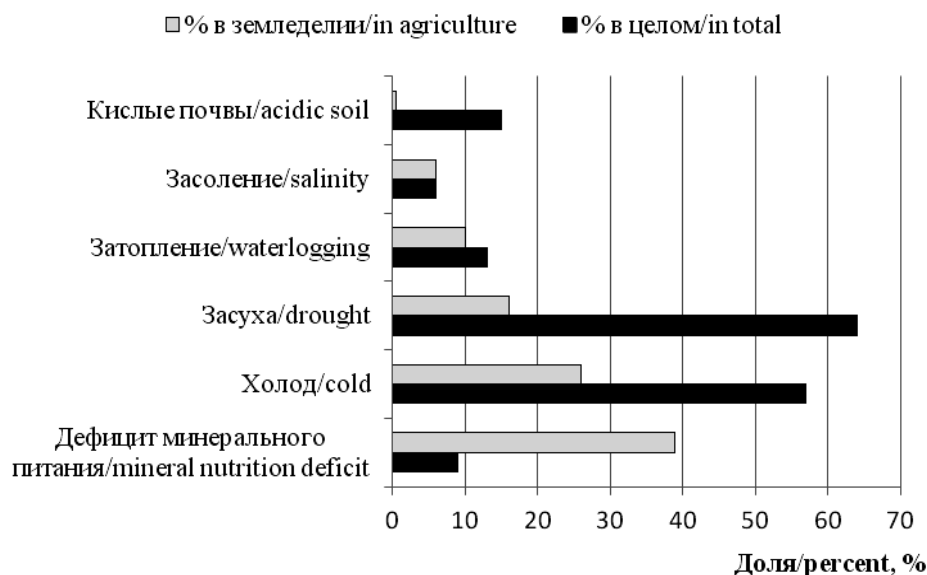


Рис. 1. Почвы, подверженные действию абиотических стрессов (по [3])
Fig. 1. Soils exposed to abiotic stresses (according to [3])

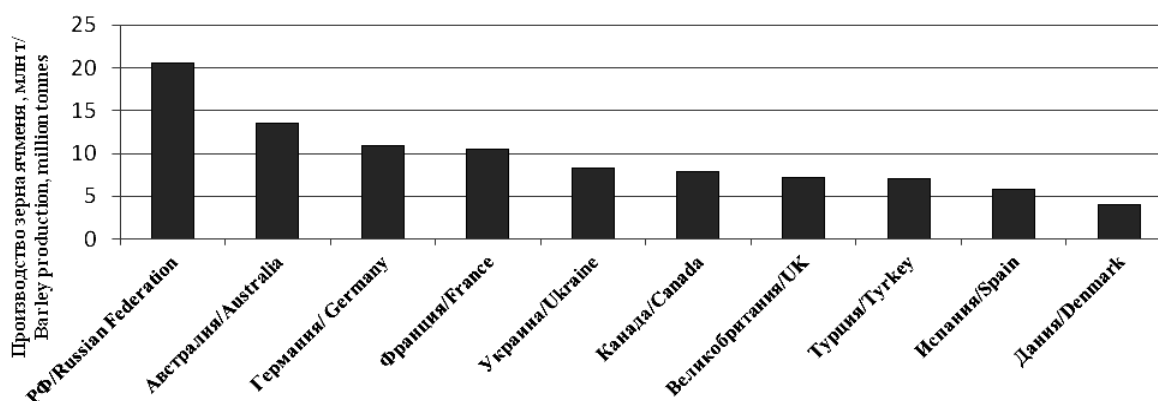


Рис. 2. Страны-лидеры по производству зерна ячменя в 2017 г. (по [6])
Fig. 2. Countries-leaders in barley grain production in 2017 (according to [6])

Целый ряд лабораторий в мире работает над созданием трансгенных линий *H. vulgare* как с целью получения фундаментальных знаний о функциях генов, так и для решения прикладных задач, связанных с увеличением устойчивости ячменя к насекомым, вирусам, грибным и бактериальным патогенам, гербицидам и абиотическим стрессам, повышением питательности и качества урожая.

Для оценки достигнутых успехов и перспектив их внедрения в практическую селекцию нами проведен анализ опубликованных работ, в которых для повышения стрессоустойчивости ячменя использованы методы ГИ, включая интеграцию в геном гетерологичных (других организмов) генов и ГИ манипуляции с собственными генами ячменя. Особое внимание уделено получению модифици-

рованных растений ячменя без продукции в них трансгенных белков – с помощью новейшей технологии – редактирования генома.

Повышение устойчивости ячменя к абиотическим стрессам путем переноса гетерологичных генов. Ответ растений на абиотический стресс является генетически сложным и трудным для контроля и конструирования, поскольку связан со значительными перестройками физиолого-биохимических процессов и с изменением экспрессии довольно большого числа генов. Например, установлено, что под действием солевого стресса у растений одновременно изменяется экспрессия более чем 1500 генов [11]. Поэтому для повышения стрессоустойчивости необходим перенос различных генов, которые вовлечены в пути передачи сигнала и регуляции, кодиру-

ют ферменты синтеза функциональных и структурных протекторов (осмолитики, антиоксиданты) или регуляторные белки [12, 13, 14, 15]. Рассмотрим те целевые гены и механизмы устойчивости, которые уже были использованы различными авторами для повышения устойчивости ячменя к абиотическим стрессам к настоящему времени.

Гены белков мембранного транспорта.

Суперэкспрессию генов, кодирующих белки, связанные с регуляцией мембранного транспорта, успешно используют для конструирования растений, толерантных к ионной токсичности. Например, для получения форм ячменя, устойчивых к повышенному содержанию ионов алюминия, австралийские ученые использовали ген транспортера малата (aluminum-activated malate transporter – *ALMT1*), выделенный из алюмотолерантного сорта пшеницы. Благодаря активному эффлюксу малата, трансформанты ячменя при выращивании в гидропонной культуре и на кислой почве превосходили исходную форму по урожайности зерна и сохраняли стабильную экспрессию интегрированного гена в поколении T2 [16, 17].

Получены также трансгенные растения ячменя с суперэкспрессией собственного *ALMT1* гена. Однако стабильная экспрессия *HvALMT1* сопровождалась снижением темпов роста трансформантов, появлением пятнистости и некрозов листьев. И хотя генно-модифицированные (ГМ) растения отличались увеличением в 20 раз эффлюкса малата и в 15 раз — сукцината, что должно способствовать повышению алюмотолерантности, практическое использование данного подхода ограничено ввиду нарушения баланса органических кислот в растении [18].

Повышению устойчивости к алюминию способствовала интеграция в геном ячменя сорта Golden Promise гена мембранного транспортера цитрата *HvAACT1* [19]. По эффективности эффлюкса из корней цитрата трансформант не уступал алюмотолерантному сорту Dayton. Таким образом, встраивание генов транспортеров органических кислот в геномы чувствительных к ионной токсикации сортов может в ближайшем будущем дополнить традиционные методы селекции.

Для повышения солеустойчивости сорта Golden Promise исследовательская группа из Австралии использовала ген арабидопсиса *AtNHX1*, кодирующий вакуолярный Na^+/H^+ транспортер. Большинство линий, экспресси-

рующих *AtNHX1*, не имели существенных преимуществ по сравнению с исходной формой. Для достижения большей эффективности данного подхода авторы делают вывод о необходимости пирамидирования нескольких генов [20]. Позднее эта же группа авторов показала, что повысить солеустойчивость ячменя можно посредством сверхэкспрессии гена, кодирующего субъединицу С вакуолярной АТФ-азы (vacuolar-type H^+ -ATPase – VHA-C) из арабидопсиса. Вакуолярная АТФ-аза растительных клеток представляет собой основной потенциал-генерирующий фермент, обеспечивающий движущую силу (протонный градиент) для транспорта в вакуоль различных ионов и метаболитов [21]. Субъединица С играет ключевую роль в обратимой сборке VHA и в обеспечении сопряженной работы периферического и интегрального доменов мембраны [22]. Линии, экспрессирующие *AtVHA-C*, в меньшей степени снижали в условиях засоления урожайность зеленой массы и зерна по сравнению с исходным сортом [23].

В ответ на повышение концентрации NaCl в побегах или корнях многих видов растений индуцируется Na^+/H^+ -обменная активность [24]. В регуляции Na^+/H^+ -обменника задействованы протеинкиназы, модифицирующие другие белки путём фосфорилирования остатков аминокислот. Трансгенные по гену протеинкиназы *AtCIPK16* растения ячменя продемонстрировали солеустойчивость при длительном (в течение 30 дней) воздействии 300 mM NaCl [25].

Увеличению накопления биомассы и продуктивности ячменя способствовала в условиях засоления экспрессия гетерологичного гена *AVPI*, кодирующего вакуолярную H^+ -пирофосфатазу арабидопсиса. Положительный эффект этой работы заключался в отсутствии изменений концентрации натрия в листьях трансгенных растений при стрессе, вызванном высокой соленостью среды [26].

Гены, кодирующие транспортеры ионов, пытались также использовать для решения проблемы дефицита минерального питания растений. Например, известна попытка увеличить потребление из почвы фосфатов, для чего в геном ячменя Golden Promise встроили ген *Phl1-6*, кодирующий транспортер фосфата. Однако растения с суперэкспрессией гена *Phl1-6* не отличались от контроля по скорости потребления фосфатов и содержанию фосфора в биомассе. Неудачу авторы связывают с

посттранскрипционной регуляцией активности транспортера [27].

Гены, контролирующие уровень фитогормонов. Фитогормоны регулируют не только процессы роста и развития растений, но и ответную реакцию организма на факторы окружающей среды. При абиотических стрессах повышению жизнеспособности растений способствуют цитокинины. В университете Палацкого в г. Оломоуце (Чехия) для увеличения выносливости ячменя к дефициту влаги использовали в качестве целевого ген, связанный с молекулярными механизмами восприятия и трансдукции цитокининового сигнала. Ячмень Golden Promise был трансформирован геном *AtCKX1* (цитокинин оксидазы/дегидрогеназы (СКХ; ЕС.1.5.99.12)) из арабидопсиса. Трансгенные растения характеризовались замедленным ростом побегов, но при этом – увеличением массы корневой системы и, соответственно, поглощающей способности корней. Благодаря этому в условиях засухи все трансгенные линии имели более высокую степень обводненности листьев и характеризовались более высокими показателями урожайности в сравнении с исходным сортом [28].

Сообщалось, что повышенное содержание цитокининов в алейроновом слое зерна, где преимущественно экспрессируется ген *HvCKX1*, способствует накоплению крахмала в эндосперме, за счет чего усиливается налив зерна [29]. В результате подавления путем РНК-интерференции у ячменя экспрессии гена *HvCKX2* польские ученые наблюдали снижение у растений активности СКХ, которое сопровождалось увеличением озерненности колоса и массы 1000 зерен [30].

Гены антиоксидантов. Воздействие стрессовых факторов сопровождается увеличением у растений продукции активных форм кислорода (АФК), содержание которых может возрастать до 10 раз [31] и приводить к окислительным повреждениям внутриклеточных структур. И хотя при передаче стрессового сигнала АФК одновременно служат у растений сигнальными молекулами, их избыточная генерация способна привести клетку к гибели, поэтому необходимо их своевременное удаление [32]. Один из подходов в геномном конструировании стрессоустойчивых линий растений основан на механизме нейтрализации АФК и усилении антиоксидантной защиты за счет встраивания соответствующих генов.

Сообщалось о повышении антиоксидантной защиты ячменя, с использованием

гена гомогенизат геранилгеранилтрансферазы (*HvHGGT*) – фермента, участвующего в синтезе токотриенола (одна из форм витамина Е). Сверхэкспрессия гена *HvHGGT* под эндогенным промотором D-гордеина (proHor) увеличила содержание токотриенола на 10-15% по сравнению с исходным сортом, а также снизила уровень перекисного окисления липидов в тканях примерно на 20% [33].

Эффективным антиоксидантом является белок тиоредоксин (TRX), который вместе с глутатионом участвует в обезвреживании АФК, передавая электроны различным пероксидазам [34]. Корни растений ячменя, экспрессирующих ген *TRX* из канареечника, характеризовались, в сравнении с исходными растениями, более низкой степенью окисления белка в условиях стресса, обусловленного токсичностью ионов алюминия. У трансформантов в сравнении с исходной формой значительно возросла активность также других антиоксидантных ферментов: каталазы, глутатионпероксидазы, глутатионредуктазы и аскорбат пероксидазы [35]. В более ранней работе ген тиоредоксина пшеницы (*Trx h*) был использован для получения линий ячменя, устойчивых к селениту, ингибирующему прорастание семян на почвах, загрязненных промышленными отходами [36]. Трансгенные по гену *Trx h* линии ячменя переводили селенит в нетоксичную форму, благодаря чему при использовании ингибирующих концентраций селенита отличались более высокой всхожестью семян и увеличением линейных размеров от проростков нетрансформированных растений. Авторы полагают, что растения ячменя с гетерологичным геном *TRX* могут найти применение в фиторемедиации загрязненных селенитом почв.

Для повышения антиоксидантной защиты растений предпринимались попытки использования генов, кодирующих различные окислительно-восстановительные ферменты. Так, трансгенез по гену супероксиддисмутазы (*SOD*) приводил к повышению устойчивости к стрессу, обусловленному алюминием, у кукурузы [37], риса [38], райграса [39]. Для повышения антиоксидантной защиты ячменя и увеличения его устойчивости к токсичности алюминия в геномы двух отечественных сортов (Купец и Белгородский 100) был встроен ген Fe-супероксиддисмутазы (*Fe-SOD1*) из арабидопсиса. Используемая генно-инженерная конструкция была снабжена сигнальной последовательностью гена *rbcS* гороха (*Pisum sativum* L.), направляющей его белковый про-

дукт в пластиду, поскольку при большинстве стрессов для сохранения нормальной жизнедеятельности растительной клетки хлоропласт является одним из наиболее значимых компартментов. Однако уровень экспрессии трансгена у полученных путем агробактериальной трансформации растений был недостаточен и не обеспечил значимого усиления активности SOD. Две из трех независимых трансгенных линий характеризовались низкой семенной продуктивностью, а всхожесть трансгенных семян варьировала от 5,0 до 52,7% в зависимости от линии. Малочисленность семенного потомства и низкая всхожесть семян не позволили изучить наследование перенесенной генетической конструкции в потомстве трансформантов и оценить изменение устойчивости растений ячменя к окислительному стрессу [40].

Одним из проявлений окислительного стресса у растений является образование и накопление активных карбонильных соединений (альдегидов и кетонов) – карбонильный стресс, который, в отличие от окислительного, происходит не внутри клеток, а во внеклеточном матриксе, где ферментные системы защиты не так эффективны, как системы, находящиеся в клетках. Группе венгерских исследователей удалось противодействовать карбонильному стрессу посредством агробактериального переноса в ячмень гена альдозоредуктазы (*MsALR*) из люцерны посевной (*Medicago sativa* L.). Для оценки защитного эффекта *MsALR* в отношении хлорофиллов и каротиноидов в некоторых трансгенных линиях фермент был направлен в хлоропласты. Накопление рекомбинантного белка *MsALR* как в цитозоле, так и в хлоропластах увеличивало толерантность трансгенных линий к карбонильному стрессу [41].

Далее было показано, что альдокеторедуктазы (AKR) не только модифицируют реакционно активные формы альдегидов, но также могут синтезировать осмопротекторы. Так, было установлено, что трансгенные растения ячменя, конститутивно экспрессирующие AKR, полученные либо из арабидопсиса (AKR4C9), либо из люцерны (*MsALR*), вырабатывают больше сорбита, чем нетрансгенный ячмень. При этом трансгенные растения демонстрировали повышенную толерантность к кадмию и соли [42].

Гены транскрипционных факторов. Использование подхода, основанного на встраивании одного гена, кодирующего про-

дукт с определенной функцией, имеет достаточно ограниченный успех при повышении толерантности культур к абиотическим стрессам, т.к. адаптация к стрессу обусловлена взаимодействием множества метаболических путей. Кроме того, растение всегда стремится к восстановлению нарушенного воздействием стрессора внутреннего гомеостаза, чему не может способствовать сверхэкспрессия одного продукта, в особенности, конститутивная. Поэтому перспективными целевыми генами служат регуляторные гены, которые связаны с несколькими метаболическими путями и влияют на ключевые метаболические пути.

В осуществлении практически всех метаболических процессов принимают участие транскрипционные факторы (TFs). Установлено, что экспрессию стресс-чувствительных генов регулируют разные семейства TFs, такие как ERF/AP2, HSF, bZIP, MYB, MYC, NFY, NAC, WRKY, Cys₂His₂, MADS-box и Zn-finger [43].

Одно из самых крупных семейств TFs представлено в растениях белками NAC (по apical meristem (NAM)), часть из которых регулирует у зерновых реакцию на засуху, холод и засоление, а другие активны в отношении патогенов [44]. Сверхэкспрессия гена, кодирующего транскрипционный фактор *HvSNAC1*, в ячмене позволила получить трансгенные растения ячменя с засухоустойчивостью, которые не отличались от растений исходного типа в условиях оптимального увлажнения. Кроме того, конститутивная сверхэкспрессия *HvSNAC1* привела к увеличению фотосинтетической активности, снижению потерь воды и повышению продуктивности ячменя в условиях полевой засухи [45].

Известно, что экспрессия генов NAC возрастает не только при засухе, но и при действии низких температур. В связи с этим гены *OsMYB4*, *TaCBF14* и *TaCBF15*, принадлежащие к семейству NAC, были успешно использованы для повышения морозостойкости ячменя [46, 47].

TFs семейства DREB (dehydration responsive elements-binding proteins) включены в АБК-независимые пути и регулируют экспрессию *Cor*-генов (cold responsive genes), что обуславливает отзывчивость растения на дегидратацию. Интеграция в геном ячменя генов *DREB2* и *DREB3* пшеницы повысила устойчивость трансформантов к водному дефициту, однако сопровождалась задержкой роста и снижением урожайности. Нарушения в росте и развитии трансформантов удалось устранить

путем использования стресс-индуцибельного промотора *Zm-Rab17*, который обеспечивал высокий уровень экспрессии трансгена только в условиях засухи [48].

Гены *DREB* участвуют также у однодольных культур в формировании холодовых адаптаций. Показано усиление их экспрессии в условиях низких температур, что, в свою очередь, активирует гены, кодирующие белки RD/COR (responsive to dehydration/cold responsive) [49]. Линии ячменя с гетерологичным геном *DREB3* были получены под контролем двух холод-индуцибельных промоторов, и проявили высокий уровень устойчивости к низким температурам, не отличаясь при этом от исходных растений по фенотипу [50].

МикроРНК. Помимо TFs, в регуляции экспрессии генов у растений участвуют микроРНК (miРНК) – малые (20-24 нуклеотида) регуляторные некодирующие РНК [51]. Роли растительных miРНК в последнее время уделяется большое внимание в связи с попытками повысить устойчивость растений к засухе и воздействию высоких температур [52, 53, 54].

Продуктивность ячменя в условиях недостатка влаги удалось повысить с помощью *Hv-miR827*, как это было ранее показано для арабидопсиса [55]. Решающее значение при этом играл выбор промотора. Растения со стресс-индуцибельным промотором *Zm-Rab17* были более эффективны в использовании воды и не отличались от исходных растений по продолжительности вегетации, а также быстрее восстанавливались после перенесенного осмотического стресса [56].

Группа исследователей Японского общества физиологов растений идентифицировала два представителя семейства *miR393* и их целевые гены *HvTIR1* и *HvAFB*, связанные с обеспечением толерантности ячменя к алюминию. Сверхэкспрессия *miR393* снижает степень окислительных повреждений и гибель клеток. Целевое ингибирование активности *miR393*, напротив, сопровождается повышением чувствительности корня к ионам алюминия. Был сделан вывод, что *miR393* участвует в регуляции чувствительности ячменя к алюминию через изменение сигналинга ауксинов. На этом может быть основана новая ГИ стратегия повышения устойчивости растений к токсичности алюминия [57].

Недавно идентифицирована ранее неизвестная miРНК ячменя, связанная с засухоустойчивостью – *hvu-miRX*. Согласно данным геномного анализа ген *hvu-miRX* располагается

на коротком плече хромосомы 2 и, по-видимому, встречается только у растений трибы *Triticeae*. Трансгенные растения ячменя, экспрессирующие *hvu-miRX*, характеризовались засухоустойчивостью. Было установлено, что *hvu-miRX* оказывает влияние на различные гены, включая TFs [58].

Всего по имеющимся в литературе данным, в геном *H. vulgare* перенесено уже более двух десятков различных генов, так или иначе связанных с формированием у ячменя устойчивости к абиотическим стрессам. Преимуществом трансгенного подхода является гораздо больший спектр генов устойчивости, доступных для вовлечения в формообразовательный процесс, в сравнении с традиционной селекцией [59]. Кроме того, он исключает возможность передачи любых нежелательных генов от растений-доноров растению-реципиенту. Однако сложность механизмов устойчивости и разнообразие стрессовых воздействий обуславливают необходимость переноса, как правило, не одного, а нескольких генов одновременно, что создает дополнительные трудности на пути повышения устойчивости культуры к абиотическим стрессам. Использование ГИ технологий на практике показывает довольно низкую эффективность. Выход трансгенных растений в работах по трансформации составляет, как правило, не более 1-2% [60]. Существенным ограничением трансгеноза являются непредсказуемость плейотропных эффектов встраиваемого гена, нестабильность экспрессии и наследуемости гетерологичных вставок. Экспрессия гетерологичных генов часто вызывает отклонения в росте, развитии и снижении продуктивности трансформантов, вследствие чего трансгеноз нельзя рассматривать, как предполагалось ранее, в качестве более быстрого, чем традиционные методы селекции, способа получения улучшенных форм растений. Поэтому геновая трансформация сегодня служит скорее ценным инструментом выяснения функциональной роли отдельных генов и их регуляции, нежели инструментом создания новых адаптивных и устойчивых к абиотическим стрессам форм.

Улучшение культуры ячменя в процессе геномного редактирования. В последние годы, в отношении многих сельскохозяйственных культур, включая ячмень, интенсивно изучается возможность получения модифицированных нетрансгенных растений с помощью внесения в геном заданных мутаций. Первоначально возникла идея изменять у рас-

тений определенные гены с помощью таргетинга (target-мишень) – гомологичной рекомбинации последовательностей, находящихся в хромосоме, с искусственно введенными в клетку последовательностями ДНК. Впервые эффективность таргетинга на ячмене проверили в Германии (Институт исследования селекции растений общества Макса Планка). Известно, что целевым объектом имидазолиноновых гербицидов является ген ацетолататсинтазы (*als*), кодирующий фермент биосинтеза аминокислот с разветвленной цепью. Мутация этого гена у растений, в том числе и у ячменя, ведет к индукции гербицидной устойчивости [61]. Ранее ALS уже использовался для анализа успешности таргетинга генов у табака (*Nicotiana tabacum*), арабидопсиса и риса. Таргетинг ячменя по гену *als*, в отличие от других культур, осуществить не удалось по причине более сложного генома этой культуры [62]. Авторы пришли к выводу, что прилагаемые усилия и временные затраты при использовании этого метода будут неоправданно велики в случае его практического приложения.

Более успешно проводить целенаправленный мутагенез позволяет редактирование генома, основанное на индукции двунитевых разрывов ДНК (double-stranded breaks – DSB). Разрывы образуются под действием различных ферментов или физических воздействий напротив друг друга, с последующей репарацией негомологичных концов (NHEJ non-homologous end-joining). К настоящему времени известны три основные технологии направленного изменения (редактирования) генома: ZFN (zinc finger nuclease – нуклеазы с доменами «цинковые пальцы»), TALEN (transcription activator-like effector nucleases – эффекторные нуклеазы, подобные активаторам транскрипции) и система CRISPR/Cas9 (clustered regulatory interspaced short palindromic repeats – короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами) [63]. Редактирование генома является очень точным процессом, и получаемые с использованием этой технологии растения, не содержат, как правило, гетерологичных последовательностей ДНК. По этой причине редактирование генома более предпочтительно, чем большинство традиционных трансгенных технологий. Однако репарация двойных разрывов тоже может приводить к небольшим (до нескольких десятков пн) делециям или инсерциям в районе DSB целевого гена.

Возможность целенаправленного мутагенеза ячменя с помощью технологии TALEN (индукции DSB специфическими эффекторными нуклеазами, подобными активаторам транскрипции), была впервые показана в совместной работе датских и американских исследователей [64].

В Германии с использованием техники TALEN в геноме ячменя был нокаутирован трансген *gfp* (green fluorescent protein, GFP), который ранее были встроен в геном ячменя в процессе агробактериальной трансформации пылевых зерен. Индуцированная мутация, благодаря гаплоидной природе клеток-мишеней, была легко обнаружена, а после удвоения генома получены гомозиготные мутантные растения [65]. В дальнейшем авторы оптимизировали данный подход, продемонстрировав возможность редактирования генома путем точного изменения определенной целевой последовательности ДНК, что привело к предсказуемому изменению функции гена *gfp*. Так, в результате совместной бомбардировки геном нуклеазы и донорной конструкцией, в клетках эпидермиса листьев накапливался не зеленый (GFP), а желтый флуоресцирующий белок (yellow fluorescent protein – YFP), с частотой примерно 3 на 100 мутированных клеток [66].

С использованием недавно разработанных синтетических нуклеаз/никаз (надрезающих эндонуклеаз), которые позволяют индуцировать DSB почти в любой последовательности генома, для культуры ячменя эффективность генного таргетинга была повышена [67]. Благодаря высокой избирательности и предсказуемости результата авторы рассматривают эти технологии в качестве рутинного инструмента генной инженерии ячменя в будущем. Однако наиболее революционным на сегодняшний день способом геномного редактирования является система CRISPR/Cas9, которая впервые была обнаружена у бактерий, где она играет роль своеобразного противовирусного иммунитета, обнаруживая встроенные в бактериальную ДНК вирусные гены и прицельно устраняя их. Эта система позволяет быстро и достаточно просто вносить изменения в заданный участок генома любой (как животной, так и растительной) клетки, получать нетрансгенные организмы с заданными модификациями одновременно в нескольких мишенях [68]. Система CRISPR/Cas9 успешно применяется для нокаутирования генов, а также для встраивания экзогенных последова-

тельностей в геном и делеции участков генома различной длины [63, 69]. В основу метода положен комплекс, включающий одиночную направляющую РНК (single guide RNA – специфическую sgRNA) и бактериальную нуклеазу Cas (CRISPR associated – ассоциированную с CRISPR). Комплекс CRISPR/Cas9 способен производить точечные DSB в участке генома, комплементарном последовательности sgRNA. Разница между CRISPR/Cas9 и другими системами редактирования геномов состоит в том, что для того чтобы ориентировать нуклеазу относительно представляющего интерес гена, требуется только направляющая РНК, а не сложная сборка белка.

На ячмене геномное редактирование с использованием системы CRISPR/Cas9 впервые осуществлено исследовательским коллективом из Великобритании. Для нокаутирования был выбран ген *HvPM19*, кодирующий АВА-индуцируемый белок плазматической мембраны, который, как полагают, участвует в контроле продолжительности периода покоя семян. Для ячменя и других зерновых культур управление экспрессией данного гена представляет практический интерес, поскольку слишком раннее прорастание семян приводит к снижению урожая и негативно влияет на качество зерна. Полученная у ячменя сорта Morex, посредством системы CRISPR/Cas9, мутация гена *HvPM19* стабильно наследовалась в последующих поколениях [70].

Во всем мире усиливается интерес к возможности управления селекционными методами содержания в зерне растворимых пищевых волокон [71]. Их источником являются β -глюканы – специфические полисахариды клеточной стенки эндосперма ячменя и других зерновых культур. Этим был обусловлен выбор гена эндо-N-ацетил- β -D-глюкозаминидазы (ENGase-endo-N-acetyl- β -D-glucosaminidase) – фермента, участвующего в углеводном обмене растений в работе австрийских ученых [72]. Систему CRISPR/Cas9 применили для получения целенаправленной мутации ячменя по гену указанного фермента. Если в работе Lawrenson с соавторами [70] число растений, у которых удалось вызвать с помощью CRISPR/Cas9 направленные мутации, не превышало 23%, то в Австрии, с помощью техник агробактериальной трансформации и бомбардировки пятью различными sgRNA-несущими плазмидами, была достигнута более высокая эффективность: индуцированные Cas9 мутации наблюдались уже у 78% растений ячменя.

Генетический анализ растений в поколении T1 подтвердил наличие в конкретных участках небольших вставок и делеций геномных фрагментов [72]. Каких-либо изменений в фенотипе полученных растений по сравнению с исходным сортом Golden Promise не выявлено. В последующих поколениях трансформантов авторы планируют провести биохимический анализ для выявления возможных изменений в составе β -глюканов.

В одной из недавних работ, посвященных геномике ячменя, системы TALEN и CRISPR/Cas9 использованы для индукции мутаций, способствующих выяснению функциональной роли фитазы (*HvPAPhy_a*) в процессах налива зерна, а также для подбора наиболее эффективного промотора этого гена [73, 74].

Первые работы по редактированию генома ячменя стали появляться и с участием российских ученых. Для проведения направленной модификации были выбраны два гена: *Nud*, контролирующий признак голозерности/пленчатости, и ген *Vrs1*, детерминирующий двурядность/шестирядность колоса. Методом полиэтиленгликоль-зависимой трансформации векторы, несущие систему CRISPR/Cas9, были перенесены в протопласты мезофилла листа ячменя сорта Алей, отличающегося высокой регенерационной способностью *in vitro*. Частота индуцированных мутаций колебалась в пределах 6-20%. Таким образом, была продемонстрирована возможность сайт-специфической модификации генома одного из ячменей сибирской селекции [75].

В Венгрии технология CRISPR/Cas9 была использована для придания ячменю устойчивости к вирусу карликовости пшеницы WDV (wheat dwarf virus). Посредством агробактериальной трансформации в геном сорта Golden Promise была перенесена конструкция с четырьмя WDV специфичными sgRNA, и получены растения T0, у которых наличие вставки было подтверждено методом ПЦР и секвенирования. Спустя 42 суток с момента инфицирования вирусом WDV модифицированных линий, на них никаких признаков инфекции не обнаружено [76].

С помощью CRISPR/Cas9 можно производить мультиплексное редактирование сразу нескольких целевых генов. Для этого вводится белок Cas9 и несколько разных sgRNA – «РНК-гидов». Каждый из них направляет Cas9 к собственной мишени, и вместе они обеспечивают мутации, способные комплексно

решить поставленную задачу. Первое сообщение об успешном проведении мультиплексного редактирования ячменя с использованием разработанного набора оригинальных специфических РНК-направляющих векторов сделали польские ученые. При одновременном редактировании в геноме ячменя Golden Promise трех генов (*HvCKX1*, *HvCKX3*, *Nud*), у 21% растений, прошедших модификацию, имелись мутации во всех мишенях [77].

Наблюдаемая в настоящее время быстрая эволюция методов геномного редактирования вселяет надежду, что использование CRISPR/ Cas9 систем довольно скоро найдет более широкое приложение, включая не только фундаментальные исследования функционального состояния геномов или слаженной работы ансамбля генов, но и для создания улучшенных сортов сельскохозяйственных растений, включая культуру ячменя. Большая часть работ по редактированию генома ячменя, к настоящему времени выполнена на модельном сорте Golden Promise, который отличается высокой регенерационной и трансформационной способностью. Выбор сорта обусловлен тем, что успех технологий введения геном компонентов, необходимых для редактирования генома (TALENs и CRISPR/Cas9), зависит от наличия протоколов эффективной трансформации и регенерации для конкретных генотипов растений. Перспективы дальнейшего использования этих технологий для культуры ячменя требуют разработки «генотип-независимых» методов генетической трансформации и регенерации, которые составят технологическую основу для геномного редактирования.

Заключение. Несмотря на значительный прогресс в области молекулярной биологии растений и связанных с ней подходов к улучшению хозяйственно ценных признаков ячме-

ня, полученные с помощью методов генной инженерии (трансгеноза) формы и линии этой культуры до сих пор далеки от практического использования в сельском хозяйстве. Наряду с недостаточностью технологических решений для успешного перенесения и экспрессии в геноме ячменя гетерологичных последовательностей, ограничивающим фактором для коммерциализации достигнутых успехов является, как и по другим сельскохозяйственным культурам, общественное неприятие генномодифицированных растений и содержащих их продуктов на международном рынке.

Кроме придания ячменю новых хозяйственно ценных качеств, генная инженерия имеет большое значение для развития функциональной геномики этой культуры. Генетическая модификация стала главным исследовательским инструментом для анализа и выяснения функций отдельных генов.

Успехи молекулярной генетики, наряду с трансгенозом, дали значительный толчок развитию методов, объединяемых в понятие геномного редактирования, которое можно рассматривать в качестве альтернативы не только классическим методам селекции растений, но и трансгенным методам улучшения сельскохозяйственных культур. Из представленных выше материалов следует, что в ряде случаев для решения селекционных задач достаточно провести манипуляции с собственным генетическим материалом.

Анализ развития биотехнологических методов свидетельствует о том, что единственная возможность их эффективного использования лежит на пути интеграции традиционных методов и ДНК-технологий. Только системный биологический подход увеличит в значительной мере возможности дальнейшего совершенствования культуры ячменя как одного из важнейших зерновых злаков.

References

1. Борлоут Н.Э. "Зеленая революция": вчера, сегодня и завтра // Экология и жизнь. 2001. №4. Т.1. Режим доступа: <http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>.
2. Borloug N.E. "Zelenaya revolyutsiya": vchera, segodnya i zavtra. [Green revolution: yesterday, today and tomorrow]. *Ekologiya i zhizn'*. 2001. no.4. Vol. 1. URL: <http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml> (In Russ.).
3. Brown L. The great food crisis of 2011 // Foreign Policy. 2011. Vol. 10. pp. 1-5. Available at: http://www.earthpolicy.org/plan_b_updates/2011/update90.
4. FAO World Soil Resources Report 90. Land resource potential and constraints at regional and country levels. Rome, 2000. 122 p. URL: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr.pdf>.
5. Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture // PNAS. 2011. Vol. 108. no. 50. pp. 20260-20264. DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
6. World agricultural production / United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Circular Series: December 2018. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>.

6. FAOSTAT. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed: 25.01.2019).
7. GM Approval Database. URL: <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>. (accessed: 25.01.2019).
8. Mayer K. F. X., Waugh R., Langridge P., Close T. J., Wise R. P., Graner A., Matsumoto T., Sato K., Schulman A., Muehlbauer G. J., Stein N., Ariyadasa R., Schulte D., Poursarebani N., Zhou R., Steuernagel B., Mascher M., Scholz U., Shi B., Madishetty K., Svensson J. T., Bhat P., Moscou M., Resnik J., Hedley P., Liu H., Morris J., Frenkel Z., Korol A., Bergès H., Taudien S., Felder M., Groth M., Platzer M., Himmelbach A., Lonardi S., Duma D., Alpert M., Cordero F., Beccuti M., Ciardo G., Ma Y., Wanamaker S., Cattonaro F., Vendramin V., Scalabrin S., Radovic S., Wing R., Morgante M., Nussbaumer T., Gundlach H., Martis M., Poland J., Spannagl M., Pfeifer M., Moisy C., Tanskanen J., Zuccolo A., Russell J., Druka A., Marshall D., Bayer M., Swarbreck D., Sampath D., Ayling S., M. Febrer, Caccamo M., Tanaka T., Schmutzer T., Brown J. W. S., Fincher G. B. A physical, genetic and functional sequence assembly of the barley genome // *Nature*. 2012. Vol. 491. no. 7426. pp. 711-716. DOI: 10.1038/nature11543.
9. Mascher M., Gundlach H., Himmelbach A., Beier S., Twardziok S.O., Wicker T., Radchuk V., Dockter C., Hedley P.E., Russell J., Bayer M., Ramsay L., Liu H., Haberer G., Zhang X.Q., Zhang Q., Barrero R.A., Li L., Taudien S., Groth M., Felder M., Hastie A., Staakova H., Vrana J., Chan S., Amatrian M.M., Ounit R., Wanamaker S., Bolser D., Colmsee C., Schmutzer T., Aliyeva-Schnorr L., Grasso S., Tanskanen J., Chailyan A., Sampath D., Heavens D., Clissold L., Cao S., Chapman B., Dai F., Han Y., Li H., Li X., Lin C., McCooke J.K., Tan C., Wang P., Wang S., Yin S., Zhou G., Poland J.A., Bellgard M.I., Borisjuk L., Houben A., Doleael J., Ayling S., Lonardi S., Kersey P., Langridge P., Muehlbauer G.J., Clark M.D., Caccamo M., Schulman A.H., Mayer K.F.X., Platzer M., Close T.J., Scholz U., Hansson M., Zhang G., Braumann I., Spannagl M., Li C., Waugh R., Stein N. A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome // *Nature*. 2017. Vol. 544. no. 7651. pp. 427-433. DOI: 10.1038/nature22043.
10. Mrízová K., Holasková E., Öz M. T., Jiskrová E., Frébort I., Galuszka P. Transgenic barley: A prospective tool for biotechnology and agriculture // *Biotechnology advances*. 2014. Vol. 32. no. 1. pp. 137-157. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2013.09.011.
11. Ma S., Gong Q., Bohnert H.J. Dissecting salt stress pathways // *Journal of experimental botany*. 2006. Vol. 57. no. 5. pp. 1097-1107. DOI: 10.1093/jxb/erj098.
12. Vyroubalová Š., Šmečilová M., Galuszka P., Ohnoutková L. Genetic transformation of barley: limiting factors // *Biologia Plantarum*. 2011. Vol. 55. no. 2. pp. 213-224. DOI: 10.1007/s10535-011-0032-8.
13. Колодяжная Я.С., Куцоконь Н.К., Левенко Б.А., Сютикова О.С., Рахметов Д.Б., Кочетов А.В. Трансгенные растения, толерантные к абиотическим стрессам // *Цитология и генетика*. 2009. Т. 43. № 2. С. 72-93. Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66636/10-Kolodyazhna.pdf?sequence=1>.
14. Kolodyazhnaya Ya.S., Kutsokon' N.K., Levenko B.A., Syutikova O.S., Rakhmetov D.B., Kochetov A.V. *Transgennyye rasteniya, tolerantnyye k abioticheskim stressam*. [Transgenic plants tolerant to abiotic stresses]. *Tsitologiya i genetika*. 2009. Vol. 43. no. 2. pp. 72-93. (In Russ.). URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66636/10-Kolodyazhna.pdf?sequence=1>.
15. Reguera M., Peleg Z., Blumwald E. Targeting metabolic pathways for genetic engineering abiotic stress-tolerance in crops // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Regulatory Mechanisms*. 2012. Vol. 1819. no. 2. pp. 186-194. DOI:10.1016/j.bbagrm.2011.08.005.
16. Баранова Е.Н., Серенко Е.К., Гулевич А.А. Генно-инженерный подход к повышению устойчивости растений к засолению: проблемы и перспективы: в кн. Проблемы агробиотехнологии / под ред. П.Н. Харченко. М.: Росинформагротех, 2012. С. 49-68.
17. Baranova E.N., Serenko E.K., Gulevich A.A. *Genno-inzhenernyy podkhod k povysheniyu ustoychivosti rasteniy k zasoleniyu: problemy i perspektivy: v kn. Problemy agrobiotekhnologii*. [Genetic engineering approach to increase of resistance to salinity in plants: problems and prospects: in book / Problems of agricultural biotechnologies]. *pod red. P.N. Kharchenko*. Moscow: *Rosinformagrotekh*, 2012. pp. 49-68. (In Russ.).
18. Delhaize E., Ryan P.R., Hebb D.M., Yamamoto Y., Sasaki T., Matsumoto H. Engineering high level aluminium tolerance in barley with the *ALMT1* gene // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2004. Vol. 101. no. 42. pp. 15249-15254. DOI: 10.1073/pnas.0406258101
19. Delhaize E., Taylor P., Hocking P. J., Simpson R. J., Ryan P. R., Richardson A. E. Transgenic barley (*Hordeum vulgare* L.) expressing the wheat aluminium resistance gene (*TaALMT1*) shows enhanced phosphorus nutrition and grain production when grown on an acid soil // *Plant biotechnology journal*. 2009. Vol. 7. no. 5. pp. 391-400. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2009.00403.x
20. Gruber B.D., Delhaize E., Richardson A.E., Roessner U., James R. A., Howitt S.M., Ryan P.R. Characterisation of HvALMT1 function in transgenic barley plants // *Functional Plant Biology*. 2011. Vol. 38. no. 2. pp. 163-175. DOI: 10.1071/FP10140.
21. Zhou G., Delhaize E., Zhou M., Ryan P.R. The barley MATE gene, HvAACT1, increases citrate efflux and Al³⁺ tolerance when expressed in wheat and barley // *Annals of botany*. 2013. Vol. 112. no. 3. pp. 603-612. DOI: 10.1093/aob/mct135.

20. Adem G. D., Roy S. J., Plett D. C., Zhou M., Bowman J. P., Shabala, S. Expressing AtNHX1 in barley (*Hordeum vulgare* L.) does not improve plant performance under saline conditions // Plant growth regulation. 2015. Vol. 77. no. 3. pp. 289-297. DOI: 10.1007/s10725-015-0063-9.
21. Чень Т., Михайлова Ю.В., Шишова М.Ф. Молекулярно-филогенетический анализ субъединиц H⁺-атфазы тонопласта // Экологическая генетика. 2015. Т. 13. № 4. С. 76-90. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/molekulyarno-filogeneticheskiy-analiz-subedinits-h-atfazy-tonoplasta>.
- Chen' T., Mikhaylova Yu.V., Shishova M.F. *Molekulyarno-filogeneticheskiy analiz sub"edinits H⁺-atfazy tonoplasta*. [Molecular phylogenetic analysis of H⁺-ATPase subunits of tonoplast]. *Ekologicheskaya genetika*. 2015. Vol. 13. no. 4. pp. 76-90. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molekulyarno-filogeneticheskiy-analiz-subedinits-h-atfazy-tonoplasta>.
22. Hong-Hermesdorf A., Brück A., Grüber A., Grüber G., Shumacher K. A WNK kinase binds and phosphorylates V-ATPase subunit C // FEBS Letters. 2006. Vol. 580. pp. 932-939. DOI: 10.1016/j.febslet.2006.01.018.
23. Adem G. D., Roy S. J., Huang Y., Chen, Z. H., Wang, F., Zhou M., Bowman J. P., Holford P., Shabala S. Expressing Arabidopsis thaliana V-ATPase subunit C in barley (*Hordeum vulgare*) improves plant performance under saline condition by enabling better osmotic adjustment // Functional Plant Biology. 2017. Vol. 44. no. 12. pp. 1147-1159. DOI: 10.1071/FP17133.
24. Rodriguez-Rosales M.P., Galvez F.J., Huertas R., Aranda M.N., Baghour M., Cagnac O., Venema K. Plant NHX cation/proton antiporters // Plant Signal. Behav. 2009. Vol. 4. pp. 265-276. DOI: 10.4161/psb.4.4.7919.
25. Roy S.J., Huang W., Wang X.J., Evrard A., Schmöckel S.M., Zafar Z.U., Tester M. A novel protein kinase involved in Na⁺ exclusion revealed from positional cloning // Plant, cell & environment. 2013. Vol. 36. no. 3. pp. 553-568. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02595.x.
26. Schilling R. K., Marschner P., Shavrukov Y., Berger B., Tester M., Roy S. J., Plett D. C. Expression of the Arabidopsis vacuolar H⁺-pyrophosphatase gene (AVP1) improves the shoot biomass of transgenic barley and increases grain yield in a saline field // Plant biotechnology journal. 2014. Vol. 12. no. 3. pp. 378-386. DOI: 10.1111/pbi.12145.
27. Rae A. L., Jarmey J. M., Mudge S. R., Smith F. W. Over-expression of a high-affinity phosphate transporter in transgenic barley plants does not enhance phosphate uptake rates // Functional Plant Biology. 2004. Vol. 31. no. 2. pp. 141-148. DOI: 10.1071/FP03159.
28. Pospíšilová H., Jiskrová E., Vojta P., Mrázová K., Kokáš F., Čudejková M. M., Bergougnoux V., Plíhal O., Klimešová J., Novák O., Dzurova L., Frébort I., Galuszka P. Transgenic barley overexpressing a cytokinin dehydrogenase gene shows greater tolerance to drought stress // New biotechnology. 2016. Vol. 33. no. 5. pp. 692-705. DOI: 10.1016/j.nbt.2015.12.005.
29. Zalabák D., Pospíšilová H., Šmehilová M., Mrázová K., Frébort I., Galuszka P. Genetic engineering of cytokinin metabolism: prospective way to improve agricultural traits of crop plants // Biotechnology advances. 2013. Vol. 31. no. 1. pp. 97-117. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.12.003.
30. Zalewski W., Galuszka P., Gasparis S., Orczyk W., Nadolska-Orczyk A. Silencing of the HvCKX1 gene decreases the cytokinin oxidase/dehydrogenase level in barley and leads to higher plant productivity // Journal of Experimental Botany. 2010. Vol. 61. no. 6. pp. 1839-1851. DOI: 10.1093/jxb/erq052.
31. Polle A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate-glutathione-pathway in chloroplasts by metabolic modeling. Computer simulations as a step towards flux analysis // Plant physiology. 2001. Vol. 126. no. 1. pp. 445-462. DOI: 10.1104/P.126.1.445.
32. Kreslavski V.D., Allakhverdiev S.I., Los D.A., Kuznetsov V.V. Signaling role of reactive oxygen species in plants under stress // Russian Journal of Plant Physiology. 2012. Vol. 59. no. 2. pp. 141-154. DOI: 10.1134/S1021443712020057.
33. Chen J., Liu C., Shi B., Chai Y., Han N., Zhu M., Bian H. Overexpression of HvHGGT Enhances Tocotrienol Levels and Antioxidant Activity in Barley // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. Vol. 65. no. 25. pp. 5181-5187. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b00439.
34. Arnér E. S., Holmgren A. Physiological functions of thioredoxin and thioredoxin reductase // Eur J Biochem. 2000. Vol. 267. no. 20. pp. 6102-6109. DOI: 10.1046/j.1432-1327.2000.01701.x.
35. Li Q., Niu H.B., Yin J., Niu J. S., Ren J.P., Li Y., Wang X. Transgenic barley with overexpressed PTRx increases aluminum resistance in roots during germination // Journal of Zhejiang University-Science B. 2010. Vol. 11. no. 11. pp. 862-870. DOI: 10.1631/jzus.B1000048.
36. Kim Y. B., Garbisu C., Pickering I. J., Prince R. C., George G. N., Cho M. J., Wong J. H., Buchanan B. B. Thioredoxin h overexpressed in barley seeds enhances selenite resistance and uptake during germination and early seedling development // Planta. 2003. Vol. 218. pp. 186-191. DOI: 10.1007/s00425-003-1102-8.
37. Van Breusegem F., Slooten L., Stassart J., Moens T., Botterman J., Van Montagu M., Inze D. Overproduction of *Arabidopsis thaliana* FeSOD confers oxidative stress tolerance to transgenic maize // Plant Cell Physiol. 1999. Vol. 40. pp. 515-523. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a029572.
38. Bhoomika K., Pyngrope S., Dubey R. S. Differential responses of antioxidant enzymes to aluminum toxicity in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with marked presence and elevated activity of Fe SOD and enhanced activities of Mn SOD and catalase in aluminum tolerant cultivar // Plant Growth Regulation. 2013. Vol. 71. pp. 235-252. DOI: 10.1007/s10725-013-9824-5.

39. Cartes P., McManus M., Wulff-Zottele C., Leung S., Gutiérrez-Moraga A., Mora M. L. Differential superoxide dismutase expression in ryegrass cultivars in response to short term aluminium stress // *Plant Soil*. 2012. Vol. 350. no. 1-2. pp. 353-363. DOI: 10.1007/s11104-011-0919-3.
40. Бакулина А.В., Широких И.Г., Лундовских И.А. Подходы к агробактериальной трансформации ячменя отечественных сортов // ТРАНСГЕННЫЕ РАСТЕНИЯ: технологии создания, биологические свойства, применение, биобезопасность: матер. докл. V Всеросс. симпозиума. М., 1-4 декабря 2014. С. 33-36.
- Bakulina A.V., Shirokikh I.G., Lundovskikh I.A. *Podkhody k agro-bakterial'noy transformatsii yachmenya otechestvennykh sortov*. [Approaches to Agrobacterium-mediated transformation of domestic barley cultivars]. *TRANS-GENNYE RASTENIYA: tekhnologii sozdaniya, biologicheskie svoystva, primeneniye, biobezopasnost': mater. dokl. V Vseross. simpoziuma*. [TRANSGENIC PLANTS: technologies of creation, biological properties, application, biosafety: abstracts of the 5th All-Russian. symposium]. Moscow, 1-4 dekabrya 2014. pp. 33-36 (In Russ.).
41. Nagy B., Majer P., Mihály R., Pauk, J., Horváth, G. V. Stress tolerance of transgenic barley accumulating the alfalfa aldose reductase in the cytoplasm and the chloroplast // *Phytochemistry*. 2016. Vol. 129. pp. 14-23. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.07.007.
42. Éva C., Solti Á., Oszvald M., Tömösközi-Farkas R., Nagy B., Horváth G. V., Tamás L. Improved reactive aldehyde, salt and cadmium tolerance of transgenic barley due to the expression of aldo-keto reductase genes // *Acta physiologiae plantarum*. 2016. Vol. 38. no. 4. pp. 38-99. DOI: 10.1007/s11738-016-2118-6.
43. Hirayama T., Shinozaki K. Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: Past, present and future // *The Plant Journal*. 2010. Vol. 61. no. 6. pp. 1041-1052. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2010.04124.x.
44. McGrann G.R., Steed A., Burt C., Goddard R., Lachaux C., Bansal A., Corbitt M., Gorniak K., Nicholson P., Brown J. K. M. Contribution of the drought tolerance-related Stress-responsive NAC1 transcription factor to resistance of barley to *Ramularia* leaf spot // *Molecular plant pathology*. 2015. Vol. 16. no. 2. pp. 201-209. DOI: 10.1111/mp.12173.
45. Al Abdallat A. M., Ayad J. Y., Elenein J. A., Al Ajlouni Z., Harwood W. A. Overexpression of the transcription factor HvSNAC1 improves drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) // *Molecular breeding*. 2014. Vol. 33. no. 2. pp. 401-414. DOI: 10.1007/s11032-013-9958-1.
46. Soltész A., Smedley M., Vashegyi I., Galiba G., Harwood W., Vágújfalvi A. Transgenic barley lines prove the involvement of TaCBF14 and TaCBF15 in the cold acclimation process and in frost tolerance // *Journal of experimental botany*. 2013. Vol. 64. no. 7. pp. 1849-1862. DOI: 10.1093/jxb/ert050.
47. Soltész A., Vágújfalvi A., Rizza F., Kerepesi I., Galiba G., Cattivelli L., Coraggio I., Crosatti C. The rice *Osm4* gene enhances tolerance to frost and improves germination under unfavourable conditions in transgenic barley plants // *Journal of applied genetics*. 2012. Vol. 53. no. 2. pp. 133-143. DOI: 10.1007/s13353-011-0081-x.
48. Morran S., Eini O., Pyvovarenko T., Parent B., Singh R., Ismagul A., Eliby S., Shirley N., Langridge, Lopato S. Improvement of stress tolerance of wheat and barley by modulation of expression of DREB/CBF factors // *Plant biotechnology journal*. 2011. Vol. 9. no. 2. pp. 230-249. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2010.00547.x.
49. Zhao T., Liang D., Wang P., Liu J., Ma F. Genome-wide analysis and expression profiling of the DREB transcription factor gene family in *Malus* under abiotic stress // *Molecular genetics and genomics*. 2012. Vol. 287. no. 5. pp. 423-436. DOI: 10.1007/s00438-012-0687-7.
50. Kovalchuk N., Jia W., Eini O., Morran S., Pyvovarenko T., Fletcher S., Bazanova N., Harris J., Beck-Oldach K., Shavruk Y., Langridge P., Lopato S. Optimization of TaDREB3 gene expression in transgenic barley using cold-inducible promoters // *Plant Biotechnology Journal*. 2013. Vol. 11. no. 6. pp. 659-670. DOI: 10.1111/pbi.12056.
51. Koroban N.V., Kudryavtseva A.V., Krasnov G.S., Sadritdinova A.F., Fedorova M.S., Snezhkina A.V., Bolsheva N.L., Muravenko O.V., Dmitriev A.A., Melnikova N.V. The role of microRNA in abiotic stress response in plants *Molecular Biology*. 2016. Vol. 50. no. 3. pp. 337-343. DOI: 10.7868/S0026898416020105.
52. Jones-Rhoades M.W., Bartel D.P., Bartel B. MicroRNAs and their regulatory roles in plants // *Annu Rev Plant Biol*. 2006. Vol. 57. pp. 19-53. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105218.
53. Pacak A., Kruska K., Swida-Barteczka A., Karlowski W., Jarmolowski A., Szweykowska-Kulinska Z. The microRNA-guided regulation of tillering in barley // *BioTechnologia Journal of Biotechnology Computational Biology and Bionanotechnology*. 2015. Vol. 96. no. 1. P. 42.
54. Budak H., Kantar M., Bulut R., Akpinar B. A. Stress responsive miRNAs and isomiRs in cereals // *Plant Sci*. 2015. Vol. 235. pp. 1-13. URL: http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-33b7210c-9ecb-4ffc-94fe-f1a0e9421185/c/BTA_Art_25769-10_39-153.pdf.
55. Liu H. H., Tian X., Li Y. J., Wu C. A., Zheng C. C. Microarray-based analysis of stress-regulated microRNAs in *Arabidopsis thaliana* // *RNA*. 2008. Vol. 14. pp. 836-843. URL: <http://www.rnajournal.org/cgi/doi/10.1261/rna.895308>.
56. Ferdous J., Whitford R., Nguyen M., Brien C., Langridge P., Tricker, P. J. Drought-inducible expression of Hv-miR827 enhances drought tolerance in transgenic barley // *Functional & integrative genomics*. 2017. Vol. 17. no. 2-3. pp. 279-292. DOI: 10.1007/s10142-016-0526-8.
57. Bai B., Bian H., Zeng Z., Hou N., Shi B., Wang J., Han N. miR393-mediated auxin signaling regulation is involved in root elongation inhibition in response to toxic aluminum stress in barley // *Plant and Cell Physiology*. 2017. Vol. 58. no. 3. pp. 426-439. DOI: 10.1093/pcp/pcw211.

58. Zhou H., Hussain S.S., Hackenberg M., Bazanova N., Eini O., Li J., Gustafson P., Shi B. Identification and characterisation of a previously unknown drought tolerance-associated micro RNA in barley. *The Plant Journal*, 2018. Vol. 95. pp. 138-149. DOI: 10.1111/tj.13938.
59. Дейнеко Е.В. Генетическая инженерия растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. №1. С. 125-137. Режим доступа: <https://vavilov.elpub.ru/index.php/jour/article/download/233/235>.
- Deyneko E.V. *Geneticheskaya inzheneriya rasteniy*. [Genetic engineering of plants]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2014. Vol. 18. no. 1. pp. 125-137. (In Russ.). URL: <https://vavilov.elpub.ru/index.php/jour/article/download/233/235>
60. Рябушкина Н.А., Галиакбаров Н.Н. Молчание генов в растениях. Как это явление можно использовать в биотехнологии // Биотехнология. Теория и практика. 2009. №1. С. 15-31.
- Ryabushkina N.A., Galiakbarov N.N. *Molchanie genov v rasteniyakh. Kak eto yavlenie mozno ispol'zovat' v bioinzhenerii*. [Silence of genes in plants. How this phenomenon can be used in bioengineering]. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika*. 2009. no.1. pp. 15-31. (In Russ.).
61. Lee H., Rustgi S., Kumar N., Burke I., Yenish J. P., Gill K. S., von Wettstein D., Ullrich S. E. Single nucleotide mutation in the barley acetohydroxy acid synthase (AHAS) gene confers resistance to imidazolinone herbicides // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2011. Vol. 108. pp. 8909-8913. DOI: 10.1073/pnas.1105612108.
62. Horvath M., Steinbiss H.H., Reiss B. Gene Targeting Without DSB Induction Is Inefficient in Barley // *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 7: 1973. DOI: 10.3389/fpls.2016.01973
63. Злобин Н.Е., Терновой В.В., Гребенкина Н.А., Таранов В.В. Сделать сложное проще: современный инструмент для редактирования генома растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 1. С. 104-111. DOI: 10.18699/VJ17.228.
- Zlobin N.E., Ternovoy V.V., Grebenkina N.A., Taranov V.V. *Sdelat' slozhnoe proshche: sovremennyy instrumentariy dlya redaktirovaniya genoma rasteniy*. [Making complex things simpler: modern tools to edit the plant genome]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2017. Vol. 21. no. 1. pp. 104-111. (In Russ.). DOI: 10.18699/VJ17.228.
64. Wendt T., Holm P. B., Starker C. G., Christian M., Voytas D. F., Brinch-Pedersen H., Holme I. B. TAL effector nucleases induce mutations at a pre-selected location in the genome of primary barley transformants // *Plant molecular biology*. 2013. Vol. 83. no. 3. pp. 279-285. DOI: 10.1007/s11103-013-0078-4.
65. Gurushidze M., Hensel G., Hiekel S., Schedel S., Valkov V., Kumlehn J. True-breeding targeted gene knock-out in barley using designer TALE-nuclease in haploid cells // *PLoS One*. 2014. Vol. 9. no. 2. 3. e92046. DOI: 10.1371/journal.pone.0092046.
66. Budhagatapalli N., Rutten T., Gurushidze M., Kumlehn J., Hensel G. Targeted modification of gene function exploiting homology-directed repair of TALEN-mediated double-strand breaks in barley // *Genes, Genomes, Genetics*. 2015. V. 5. no. 9. pp. 1857-1863. DOI: 10.1534/g3.115.018762.
67. Watanabe K., Breier U., Hensel G., Kumlehn J., Schubert I., Reiss B. Stable gene replacement in barley by targeted double-strand break induction // *Journal of experimental botany*. 2015. Vol. 67. no. 5. pp. 1433-1445. DOI: 10.1093/jxb/erv537.
68. Короткова А. М., Герасимова С. В., Шумный В. К., Хлесткина Е. К. Гены сельскохозяйственных растений, модифицированные с помощью системы CRISPR/Cas // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 2. С. 250-258. DOI: 10.18699/VJ17.244.
- Korotkova A. M., Gerasimova S. V., Shumnyy V. K., Khlestkina E. K. *Geny sel'skokhozyaystvennykh rasteniy, modifitsirovannye s pomoshch'yu sistemy CRISPR/Cas*. [Crop genes modified using CRISPR/Cas system]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2017. Vol. 21. no. 2. pp. 250-258. (In Russ.). DOI: 10.18699/VJ17.244
69. Власов В.В., Медведев С.П., Закиян С.М. «Редакторы» геномов. От цинковых пальцев до CRISPR // *Наука из первых рук*. 2014. Т. 56. № 2. С. 44-53. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/redaktory-genomov-ot-tsinkovykh-paltsev-do-crispr>.
- Vlasov V.V., Medvedev S.P., Zakiyan S.M. *«Redaktory» genomov. Ot tsinkovykh pal'tsev do CRISPR*. ["Editors" of genomes. From zinc fingers to CRISPR]. *Nauka iz pervykh ruk*. 2014. Vol. 56. no. 2. pp. 44-53. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/redaktory-genomov-ot-tsinkovykh-paltsev-do-crispr>.
70. Lawrenson T., Shorinola O., Stacey N., Li C., Ostergaard L., Patron N., Uauy C., Harwood W. Induction of targeted, heritable mutations in barley and Brassica oleracea using RNA-guided Cas9 nuclease // *Genome biology*. 2015. Vol. 16. no. 1. pp. 258. DOI: 10.1186/s13059-015-0826-7.
71. Полонский В.И., Сумина А.В. Содержание β-глюканов в зерне как перспективный признак при селекции ячменя на пищевое использование (обзор иностранной литературы) // *Сельскохозяйственная биология*. 2013. №5. С. 30-43. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-glyukanov-v-zerne-kak-perspektivnyy-priznak-pri-seleksii-yachmenya-na-pischevoe-ispolzovanie-obzor-inostrannoy-literatury>.
- Polonskiy V.I., Sumina A.V. *Soderzhanie β-glyukanov v zerne kak perspektivnyy priznak pri seleksii yachmenya na pishchevoe ispol'zovanie (obzor inostrannoy literatury)*. [β-glucans content as a perspective trait in the barley breeding for foodstuff use (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2013. no. 5. pp. 30-43. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-glyukanov-v-zerne-kak-perspektivnyy-priznak-pri-seleksii-yachmenya-na-pischevoe-ispolzovanie-obzor-inostrannoy-literatury>

72. Kapusi E., Corcuera-Gómez M., Melnik S., Stoger E. Heritable genomic fragment deletions and small indels in the putative ENGase gene induced by CRISPR/Cas9 in barley // *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 8. Art. 540. pp.1-11. DOI: 10.3389/fpls.2017.00540.
73. Holme I.B., Dionisio G., Madsen C.K., Brinch-Pedersen H. Barley *HvPAPhy_a* as transgene provides high and stable phytase activities in mature barley straw and in grains // *Plant Biotechnol J*. 2017. Vol. 15. pp. 415-422. DOI: 10.1111/pbi.12636.
74. Holme I.B., Wendt T., Gil-Humanes J., Deleuran L. C., Starker C. G., Voytas D. F., Brinch-Pedersen H. Evaluation of the mature grain phytase candidate *HvPAPhy_a* gene in barley (*Hordeum vulgare* L.) using CRISPR/Cas9 and TALENs // *Plant Molecular Biology*. 2017. Vol. 95. no. 1-2. pp. 111-121. DOI: 10.1007/s11103-017-0640-6.
75. Gerasimova S.V., Korotkova A. M., Hertig C., Hiekel S., Hoffie R., Budhagatapalli N., Otto I., Hensel G., Shumny V.K., Kochetov A.V., Kumlehn J., Khlestkina E.K. Targeted genome modification in protoplasts of a highly regenerable sibirian barley cultivar using RNA-guided Cas9 endonuclease // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018. Vol. 22(8). pp. 1033-1039. DOI: 10.18699/VJ18.447.
76. Kis A., Hamar É., Tholt G., Bán R., Havelda Z. Creating highly efficient resistance against Wheat dwarf virus in barley by employing CRISPR/Cas9 system. *Plant biotechnology journal*. 2019. pp. 1-4. DOI: 10.1111/pbi.13077.
77. Gasparis S., Kała M., Przyborowski M., Łyżnik L. A., Orczyk W., Nadolska-Orczyk A. A simple and efficient CRISPR/Cas9 platform for induction of single and multiple, heritable mutations in barley (*Hordeum vulgare* L.) // *Plant methods*. 2018. Vol. 14(1). P. 111. DOI: 10.1186/s13007-018-0382-8.

Поступила: 08.02.2019

Принята к публикации: 11.02.2019

Сведения об авторах:

Бакулина Анна Владимировна, кандидат биол. наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5171-2476>**, e-mail: drugaeann1@rambler.ru

Широких Ирина Геннадьевна, доктор биол. наук, зав. лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3319-2729>**, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Received: 08.02.2019

Accepted for publication: 11.02.2019

Information about the authors:

Anna V. Bakulina, PhD in Biological Sciences, researcher of the laboratory of biotechnologies of plants and microorganisms Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5171-2476>**, e-mail: drugaeann1@rambler.ru

Irene G. Shirokikh, Doctor of Biological Sciences, Head of the laboratory of biotechnologies of plants and microorganisms Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3319-2729>**, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

РАСТЕНИЕВОДСТВО / PLANT GROWING

УДК 633.11:631.524.01

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.20-28

Наследование признаков алюмоустойчивости проростков яровой пшеницы в условиях рулонной культуры*

© 2019. Л.В. Волкова, О.С. Амунова

ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", г. Киров, Российская Федерация

Изучены 8 сортов яровой мягкой пшеницы и 16 гибридов второго поколения, полученные методом полных топкроссов, по параметрам развития проростков (длина зародышевых корней, вес корней и надземной части), а также по потенциальной устойчивости к ионам алюминия (индекс длины корней) в условиях рулонной культуры (контроль – дистиллированная вода, опыт – водный раствор сульфата алюминия в концентрации 1,5 ммоль, рН 4,3). Исходные сорта проанализированы по общей и специфической комбинационной способности (ОКС и СКС). Высокой ОКС ростовых параметров обладали Баганская 95 (Россия, Новосибирская обл.), Карабалыкская 98 (Казахстан), Jasna (Польша); индекса длины корней – Алтайская 530 (Россия, Алтайский край) и Горноуральская (Россия, Свердловская обл.). Выделены три перспективные гибридные комбинации с высокой степенью фенотипического доминирования морфологических признаков (Алтайская 530 х Лютеценс 30, Баганская 95 х Серебристая, Тюменская 26 х Jasna) и пять гибридных комбинаций по способности противостоять стрессору (Алтайская 530 х Серебристая, Алтайская 530 х Jasna, Баганская 95 х Лютеценс 30, Карабалыкская 98 х Лютеценс 30, Тюменская 26 х Серебристая). В результате исследований показано, что наибольшее влияние ионы алюминия оказывают на длину зародышевых корней, снижая ее на 5...25% в зависимости от генотипа. Сортная дифференциация признаков более выражена в контрольных условиях. Общий коэффициент наследования (h^2_o) изучаемых параметров составлял 0,61...0,87, что свидетельствует о возможности эффективной селекции на потенциальную продуктивность и устойчивость к алюминию. Влияние отцовских компонентов на длину корня гибридов было незначительно, значения индекса длины корней определялись главным образом материнскими компонентами, что следует учитывать при планировании скрещиваний с участием данных сортов.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, проросток, зародышевый корешок, гибрид, комбинационная способность, наследование, устойчивость к алюминию

Для цитирования: Волкова Л.В., Амунова О.С. Наследование признаков алюмоустойчивости проростков яровой пшеницы в условиях рулонной культуры. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):20-28. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.20-28.

Inheritance of aluminum resistance characteristics in spring wheat sprouts under conditions of a roll culture

© 2019. L.V. Volkova, O.S. Amunova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Eight varieties of spring soft wheat and 16 hybrids of the second generation, formed by the method of complete top crosses have been studied in terms of the development parameters of seedlings (the length of the embryonic roots, the weight of roots and aboveground parts), and the potential resistance to aluminum ions (root length index - RLI) under conditions of a roll culture (control - distilled water, experience - an aqueous solution of aluminum sulfate at a concentration of 1.5 mmol, pH 4.3). Initial varieties are analyzed for general and specific combinational ability (GCA and SCA). High-growth parameters were characteristic of Baganskaya 95 (Russia, Novosibirsk region), Karabalykская 98 (Kazakhstan), Jasna (Poland); the values of the RLI are Altaiskaya 530 (Russia, Altai Territory) and Gornouralskaya (Russia, Sverdlovsk Region). Three promising hybrid combinations with a high degree of phenotypic dominance of morphological characteristics were identified (Altaiskaya 530 x Lutescens 30, Baganskaya 95 x Serebristaya, Tyumenskaya 26 x Jasna) and five hybrid combinations for resistance to stress (Altaiskaya 530 x Serebristaya, Altaiskaya 530 x Jasna, Baganskaya 95 x Lutescens 30, Karabalykская 98 x Lutescens 30, Tyumenskaya 26 x Serebristaya). As a result of the research, it has been shown that aluminum ions exert the greatest influence on the length of the embryonic roots, reducing it by 5...25% depending on the genotype. Variety differentiation of characters is more evident in control conditions. The total inheritance ratio (h^2_o) of the parameters studied was 0.61 ... 0.87, which indicated the possibility of effective selection for potential productivity and resistance to aluminum. The influence of the paternal components on the root length of the hybrids was insignificant; the values of the root length index were determined mainly by the maternal components, which should be taken into account when planning crosses involving these varieties.

Key words: spring soft wheat, seedling, embryonic root, hybrid, combinative ability, heritability, resistance to aluminum

For citation: Volkova L.V., Amunova O.S. Inheritance of aluminum resistance characteristics in spring wheat sprouts under conditions of a roll culture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1): 20-28. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.20-28.

* Работа выполнена в рамках Государственного задания №0767-2018-0006-C-01.

Введение. Алюминий по содержанию в земной коре занимает третье место (8,8% ее массы) после кислорода и кремния и является наиболее распространенным среди металлов [1]. В последние десятилетия проявляется тенденция к усилению кислотности почв по всему миру в связи с повышенной антропогенной нагрузкой [2]. С ростом кислотности возрастает токсичность ионов металлов, при этом алюминий рассценивается как главный вредный фактор для роста растений на почвах с $pH < 5,0$ [3]. В России находятся самые большие в мире площади почв с избыточной кислотностью. По результатам агрохимических обследований пахотных земель, площадь кислых почв ($pH < 5,5$) в настоящее время составляет около 65 млн. га, а потери сельскохозяйственной продукции в пересчете на зерно в год составляют 15-20 млн т [4].

В Волго-Вятском регионе России значительную часть пахотных земель занимают дерново-подзолистые почвы с кислой реакцией среды, содержанием гумуса не более 2-3% [5]. Такие почвы могут содержать до 9% подвижных форм алюминия. Избыток доступного алюминия на фоне низкого pH негативно сказывается на жизнедеятельности растений, вызывая угнетение развития корневой системы, снижение интенсивности дыхания, торможение фотосинтеза, хлороз (некроз) листьев и возможную гибель растения [4, 6, 7].

Устойчивость растений определяется различными механизмами, обеспечивающими внешнюю и внутреннюю детоксикацию ионов алюминия, и находится под полигенным генетическим контролем [8, 9]. Некоторыми авторами показано, что преобладающая роль принадлежит гену толерантности *Alt* (aluminum tolerant), продуктом которого является белок, осуществляющий перенос органических кислот (у пшеницы в основном яблочной кислоты) из корней в прикорневую зону [6,10,11]. Уровень алюмоустойчивости хлебных злаков связывают и с концентрацией фермента НАД-киназы в кончиках корня, накоплением каллозы в корнях и листьях растений [8]. G. Zhou, E. Delhaize с соавт. [7] предложены два основных механизма: исключения (предотвращают попадание Al^{3+} в цитозоль) и толерантности (позволяют растениям безопасно поглощать и накапливать Al^{3+} в своих клетках).

Для решения проблемы эдафической адаптации растений к почвенно-климатическим условиям каждой зоны следует рассматривать целенаправленное создание толерантных сортов зерновых культур [12, 13].

Оценка на устойчивость к алюминию в полевых условиях часто затруднена из-за сильной вариабельности pH почвенного раствора в поверхностном и подповерхностном горизонтах почвы, а также длительности и трудоемкости работы. Поэтому возникает потребность в лабораторной оценке на ранних этапах онтогенеза (в фазу проростков), когда растения наиболее чувствительны к стрессам. Показано, что различия, проявляющиеся между сортами в этот период, сохраняются и у взрослых растений [14]. В селекции сортов на устойчивость к алюминию требуют изучения – возможность передачи уровня признака от родителей гибридам и характер наследования устойчивости. При планировании скрещиваний важно учитывать, что, чем дальше в филогенетическом отношении отстоят друг от друга исходные формы, тем сильнее выражена генетическая дивергенция и тем вероятнее нахождение среди этого потомства трансгрессивных форм [15].

Цель исследований – выявить общую и специфическую комбинационную способность сортов яровой пшеницы, различающихся по уровню алюмоустойчивости в фазу проростков, определить степень доминирования признаков у гибридов F_2 в нормальных и стрессовых условиях, на основе коэффициентов наследуемости прогнозировать эффективность селекции на потенциальную устойчивость к ионам алюминия. Новизна – впервые в условиях Волго-Вятского региона получен гибридный материал яровой мягкой пшеницы для селекции на алюмоустойчивость.

Материал и методы. Объектом для исследований стали 16 гибридных комбинаций F_2 (по зерну), полученные путем полных топкроссов с участием четырех материнских и четырех отцовских компонентов. В качестве исходных форм использовали сорта яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР, отобранные по результатам кластерного анализа как наиболее удаленные в генетическом отношении. Материнскими формами служили сорта Алтайская 530 (Россия, Алтайский край), Баганская 95 (Россия, Новосибирская обл.), Карабалыкская 98 (Казахстан), Тюменская 26 (Россия, Тюменская обл.); отцовскими формами (тестерами) – Горноуральская (Россия, Свердловская обл.), Лютесценс 30 (Россия, Самарская обл.), Серебристая (Россия, Омская обл.), Jasna (Польша).

Определение уровня потенциальной алюмоустойчивости исходных форм и гибридов проводили в условиях рулонной культуры в трехкратной повторности по методике Е.М. Лисицына [16]. Семена проращивали в течение

пяти суток при температуре 22-23⁰С. В контрольном варианте использовали дистиллированную воду, в опытном – водный раствор сульфата алюминия в концентрации 1,5 мМоль, рН 4,3 (соответствует кислотности почвенного раствора места произрастания). По окончании опыта оценивали массу надземной части проростков, длину и массу зародышевых корней, а также уровень потенциальной алюмоустойчивости (ИДК – индекс длины корней) как отношение средних длин корней в опыте и контроле. Степень фенотипического доминирования признаков (h_p) определяли по формуле:

$$h_p = 2(F - P_{cp}) / P_l - P_x,$$

где h_p – степень фенотипического доминирования, F – среднее значение абсолютных величин гибрида, P_{cp} – среднее значение абсолютных величин родителей, P_l и P_x – соответственно среднее значение лучшего и худшего родителей¹. Коэффициент наследуемости (h^2) рассчитывали по методике Б.А. Доспехова²,

оценку эффектов ОКС и СКС родительских компонентов производили согласно методическим рекомендациям³.

Результаты и их обсуждение. При анализе ростовых параметров (длина зародышевых корней, масса корней и ростков) выделены материнские формы Баганская 95 и Тюменская 26, имеющие достоверно высокие значения признаков по отношению к тестерам. По устойчивости к ионам алюминия (по величине ИДК) преимущество имела отцовская форма Горноуральская, а самыми низкими значениями характеризовалась материнская форма Тюменская 26. Межсортовая дифференциация признаков, за исключением массы ростка, была незначительной, при этом в контрольных условиях коэффициент вариации был несколько выше ($V = 7,9...14,4\%$), чем в условиях опыта ($V = 5,1...12,7\%$). Следовательно, генотипические различия у сортов более ярко проявлялись в нормальных условиях проращивания (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Характеристика исходных форм яровой пшеницы по ростовым параметрам и устойчивости к ионам алюминия в фазу проростков

Characteristics of the original forms of spring wheat by growth parameters and resistance to aluminum ions in the seedling phase

<i>Copt / Variety</i>	<i>Длина корня, см / Root length, cm</i>	<i>Масса корня, мг / Root weight, mg</i>	<i>Масса ростка, мг / Weight of sprout, mg</i>	<i>ИДК, % / RLI, %</i>
♀ Алтайская 530 / ♀ Altayskaya 530	9,64 8,06*	3,73 3,36*	4,01 3,94	83,6
♀ Баганская 95 / ♀ Baganskaya 95	10,82 8,82*	4,38 3,93*	5,17 5,22	81,5
♀ Карабалыкская 98 / ♀ Karabalykskaya 98	9,73 7,65*	3,38 3,44	4,07 4,06	79,1
♀ Тюменская 26 / ♀ Tyumenskaya 26	11,23 8,80*	3,84 3,42*	4,66 4,63	78,6
♂ Лютеценс 30 / ♂ Lutestsens 30	9,80 8,43*	3,41 3,17*	3,51 3,63	86,0
♂ Jasna	9,38 8,34*	3,98 3,95	3,90 4,08*	89,0
♂ Горноуральская / ♂ Gornouralskaya	8,82 8,43	3,63 3,39	5,12 4,77	95,6
♂ Серебристая / ♂ Serebristaya	9,66 7,85*	3,33 3,12	3,88 3,85	81,2
Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)	7,9 5,1	9,6 8,9	14,4 12,7	6,8
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,85 0,58	0,41 -	0,25 0,89	10,1

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя – 1,5 мМоль Al; * опытные величины значимо отличаются от контрольных, $p \leq 0,05$.

Note: the top line is the control, the bottom line is 1.5 mM Al; * - experimental values are significantly different from the control, $p \leq 0.05$.

¹Мазер К., Джинкс Дж. Биометрическая генетика. М.: Мир, 1985. 463 с.

²Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

³Вольф В.Г. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. 76 с.

В работах российских и зарубежных авторов указывается, что токсичность алюминия в наибольшей степени сказывается на развитии корневой системы растения, чем на развитии его надземной части [2, 4, 17]. В наших исследованиях стрессовый фактор значительное влияние оказал на длину корней, снизив ее в среднем на 20% у материнских сортов и на 12% у тестеров – различия по этому показателю в системе «опыт-контроль» достоверны у всех изучаемых генотипов, за исключением сорта Горноуральская. Масса корней под воздействием ионов алюминия снизилась соответственно на 8 и 9% у материнских и отцовских растений. Наименьшему влиянию стресса

подверглись ростки пшеницы – у большинства сортов изменение массы ростков было статистически незначимым. Достоверные отличия данного параметра относительно контроля установлены только для сорта Jasna, у которого в стрессовых условиях произошло увеличение массы ростка на 5%.

На основе топкроссных испытаний был проведен дисперсионный анализ, который позволил выявить высокую значимость эффектов общей комбинационной способности (ОКС) у родительских сортов по всем признакам на обоих фонах изучения. Достоверность отличий устанавливалась относительно средней ОКС, равной нулю (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Оценки эффектов ОКС родительских сортов в нормальных и стрессовых условиях
Evaluation of the effects of GCA on parental varieties under normal and stressful conditions

<i>Сорт / Variety</i>	<i>Длина корня / Root length</i>	<i>Масса корня / Root weight</i>	<i>Масса ростка / Weight of sprout</i>	<i>ИДК / RLI</i>
♀ Алтайская 530 / ♀ Altayskaya 530	-1,28 -0,55	-0,40 -0,26	-0,64 -0,56	5,74*
♀ Баганская 95 / ♀ Baganskaya 95	0,69* 0,26*	0,41* 0,20*	0,45* 0,21*	-3,13
♀ Карабалыкская 98 / ♀ Karabalykskaya 98	0,70* 0,41*	0,09 0,23*	0,30* 0,48*	-1,99
♀ Тюменская 26 / ♀ Tyumenskaya 26	-0,11 -0,13	-0,11 -0,17	-0,10 -0,12	-0,62
♂ Лютесценс 30 / ♂ Lutestsens 30	-0,23 -0,23	-0,20 -0,20	-0,27 -0,28	-1,01
♂ Jasna	0,78* 0,24*	0,49* 0,37*	0,34* 0,27*	-3,56
♂ Горноуральская / ♂ Gornouralskaya	-0,28 0,15*	0,01 0,17*	0,31* 0,31*	3,38*
♂ Серебристая / ♂ Serebristaya	-0,27 -0,16	-0,30 -0,34	-0,39 -0,31	1,18
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,22 0,11	0,13 0,10	0,09 0,19	2,74

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМоль Al; * достоверно высокие значения ОКС.

Note: the top line is the control, the bottom line is 1.5 mM Al; * reliably high values of GCA.

Существенно высокую ОКС по всем ростовым параметрам имели сорта Баганская 95, Карабалыкская 98, Jasna, низкую – Алтайская 530, Лютесценс 30, Серебристая. У сорта Горноуральская высокие значения ОКС получены по массе и длине корней в опытном варианте, а также массе ростка на обоих фонах, достоверно низкие – по длине корней в контроле. По способности противостоять стрессору (по величине ИДК) достоверно высокие эффекты ОКС отмечены у материнского сорта

Алтайская 530 и тестера Горноуральская, низкие – у сортов Баганская 95 и Jasna.

В гибридных популяциях F₂ пределы межсортового варьирования длины корней были выше, чем у исходных форм, и составляли 8,26...12,38 см (V = 11,5%) в контроле и 7,77...9,69 см (V = 6,4%) в опыте. При этом наблюдался положительный сдвиг общего среднего значения у гибридов по сравнению со средним значением родителей – прибавка на 0,63 и 0,46 см в контроле и опыте соответ-

ственно. Влияние ионов алюминия на длину корней оказалось существенным во всех комбинациях скрещивания, кроме «Алтайская 530 х Серебристая», общее снижение длины

корней под влияние стрессора составило 17%. Значения ИДК в зависимости от комбинации скрещивания варьировали в пределах от 75,1 до 94,1%.

Таблица 3 / Table 3

Степень фенотипического доминирования и эффекты СКС у гибридных популяций F₂ в нормальных и стрессовых условиях
The degree of phenotypic dominance and the effects of SCA in hybrid populations of F₂ under normal and stressful conditions

Комбинация скрещивания / Combination crossbreeding	Длина корня / Root length		Масса корня / Root weight		Масса ростка / Weight of sprout		ИДК / RLI	
	h_p	CKC/ SCA	h_p	CKC/ SCA	h_p	CKC/ SCA	h_p	CKC/ SCA
Алтайская 530 х Лютеценс 30 / Altayskaya 530 x Lutestsens 30	13,1 2,4	1,76* 0,71*	3,1 3,8	0,57* 0,22*	3,3 3,8	0,85* 0,61*	-3,4	-7,93
Алтайская 530 х Jasna / Altayskaya 530 x Jasna	-3,6 0,5	-0,98 -0,17	-0,7 -0,1	-0,40 -0,09	-1,8 0,6	-0,51 -0,27	2,0	5,55
Алтайская 530 х Горноуральская / Altayskaya 530 x Gornouralskaya	-0,9 -0,9	-0,08 -0,27	3,0 20,7	0,14* -0,10	-0,7 -0,9	-0,13 -0,37	0,3	-1,70
Алтайская 530 х Серебристая / Altayskaya 530 x Serebristaya	-139,0 -1,8	-0,71 -0,27	-2,3 0,0	-0,31 -0,03	-8,2 -3,1	-0,21 0,03	10,6	4,07
Баганская 95 х Лютеценс 30 / Baganskaya 95 x Lutestsens 30	0,2 0,5	-0,57 -0,06	0,3 1,2	-0,25 0,15*	0,0 0,2	-0,45 0,08	0,1	4,12
Баганская 95 х Jasna / Baganskaya 95 x Jasna	2,2 0,9	-0,28 -0,46	4,2 22,0	0,01 -0,30	1,4 0,5	-0,04 -0,18	-2,7	-2,09
Баганская 95 х Горноуральская / Baganskaya 95 x Gornouralskaya	0,9 2,2	-0,19 -0,07	1,4 2,3	-0,01 0,04*	8,0 5,7	-0,08 0,16*	-0,5	0,60
Баганская 95 х Серебристая / Baganskaya 95 x Serebristaya	3,0 2,3	1,04* 0,60*	1,1 0,8	0,25* 0,10*	1,2 -0,1	0,57* -0,06	-16,1	-2,63
Карабалыкская 98 х Лютеценс 30 / Karabalykskaya 98 x Lutestsens 30	12,8 1,5	-0,77 -0,36	22,0 4,5	-0,25 0,02	2,2 3,0	-0,27 -0,31	0,5	3,10
Карабалыкская 98 х Jasna / Karabalykskaya 98 x Jasna	16,1 4,9	0,38 0,29*	4,0 3,1	0,20* 0,03*	16,4 114,0	0,07 -0,14	-1,1	-0,07
Карабалыкская 98 х Горноуральская / Karabalykskaya 98 x Gornouralskaya	4,2 4,2	0,27 0,35*	4,4 36,8	-0,13 0,06*	1,7 3,4	0,20* 0,21*	-0,1	1,11
Карабалыкская 98 х Серебристая / Karabalykskaya 98 x Serebristaya	39,1 9,7	0,12 -0,28	28,0 2,5	0,18* -0,08	6,3 10,1	0,01 0,24*	-0,8	-4,14
Тюменская 26 х Лютеценс 30 / Tyumenskaya 26 x Lutescens 30	-1,0 -1,8	-0,42 -0,30	4,2 -1,5	-0,06 -0,39	0,1 -0,6	-0,12 -0,38	0,2	0,70
Тюменская 26 х Jasna / Tyumenskaya 26 x Jasna	1,9 2,8	0,88* 0,35*	7,9 3,1	0,19* 0,37*	2,9 3,6	0,47* 0,60*	-1,4	-3,39
Тюменская 26 х Горноуральская / Tyumenskaya 26 x Gornouralskaya	0,1 0,8	0,01 -0,02	1,8 30,7	-0,03 -0,02	0,0 1,4	0,01 0,00	0,1	-0,02
Тюменская 26 х Серебристая / Tyumenskaya 26 x Serebristaya	-1,0 0,1	-0,46 -0,05	-0,1 0,7	-0,12 0,02	-1,2 -0,7	-0,36 -0,21	5,1	2,71
Средняя величина δ_{si}^2 / mean value δ_{si}^2	-	0,63 0,15	-	0,06 0,03	-	0,16 0,09	-	9,1

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМоль Al; * достоверно высокие значения СКС согласно средней величине дисперсии (δ_{si}^2).

Note: the top line is the control, the bottom line is 1.5 mM Al; * reliably high values of SCA according to the mean value of the dispersion (δ_{si}^2).

Для гибридов была характерна и более значительная межсортовая вариабельность весовых показателей проростков по сравнению с родителями ($V = 11,2...14,3\%$). Предельные значения массы ростков и корней в гибридных популяциях отклонялись от крайних значений исходных форм как в положительную, так и в отрицательную сторону на $0,63...1,30$ мг, при этом наблюдалось превышение общего среднего значения гибридов над средним значением родителей на $0,34...0,40$ мг. Влияние стресса на массу корня и ростка было существенным у трех гибридных комбинаций: Алтайская 530 х Лютеценс 30, Баганская 95 х Jasna, Тюменская 26 х Лютеценс 30. У пяти гибридов отмечено снижение какого-либо одного весового показателя.

Степень фенотипического доминирования (h_p) в зависимости от комбинации скрещивания колебалась в пределах $-139,0...+114,0$. Высокая степень фенотипического доминирования ($h_p > 1$), как и существенно высокие эффекты СКС по длине корней, массе корней и ростков наблюдались в комбинациях Алтайская 530 х Лютеценс 30, Баганская 95 х Серебристая, Тюменская 26 х Jasna (табл. 3). По индексу ИДК, характеризующему устойчивость к алюминию, различия статистически не доказываются, однако можно отметить комби-

нации Алтайская 530 х Jasna, Алтайская 530 х Серебристая, Баганская 95 х Лютеценс 30, Карабалыкская 98 х Лютеценс 30, Тюменская 26 х Серебристая. Остальные комбинации имели промежуточное наследование признаков, либо уклонялись в сторону лучшего или худшего родителя.

Если оценивать согласованность изученных параметров в опыте и контроле, можно отметить, что условия проращивания не влияли на оценку h_p и СКС длины корней и массы ростков – коэффициент корреляции «опыт-контроль» значим на 1%-ном уровне (соответственно $r = 0,55$ и $0,85$; $n = 16$). Корреляция между контрольными и опытными значениями коэффициента доминирования массы корней была несущественной ($r = -0,05$), параметра СКС – слабой положительной ($r = 0,31$). Можно предположить, что наследование массы зародышевых корней обусловлено разными механизмами в зависимости от условий проращивания семян.

Для рационального планирования родительских пар, включаемых в скрещивания, а также ориентировочного прогнозирования эффективности селекции, кроме определения комбинационной способности, важную информацию дает коэффициент наследуемости признаков (табл. 4).

Таблица 4 / Table 4

Коэффициенты наследуемости (h^2) физиологических параметров проростков яровой пшеницы
Heritability coefficients (h^2) of physiological parameters of spring wheat seedlings

Признак / Character	Коэффициент наследуемости / Heritability coefficients			
	h^2_A	h^2_B	h^2_{AB}	h^2_O
Длина корня / Root length	0,37	0,03	0,46	0,86
	0,31	0,01	0,39	0,71
Масса корня / Root weight	0,27	0,28	0,21	0,76
	0,22	0,39	0,26	0,87
Масса ростка / Weight of sprout	0,32	0,16	0,36	0,84
	0,33	0,14	0,22	0,69
ИДК / RLI	0,61	-	-	0,61

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМоль Al.

Note: the top line is the control, the bottom line is 1.5 mM Al

Коэффициент наследуемости, характеризующий степень передачи селективируемого признака, вычисляли методом дисперсионного анализа топкроссных скрещиваний. По всем ростовым параметрам проростков существенность влияния материнских (фактор А) и отцовских форм (фактор В), а также их взаимодействия (АВ) доказаны на 5%-ном уровне

значимости ($F_{\phi} > F_{05}$). Высокие общие коэффициенты наследуемости (h^2_O) этих признаков свидетельствуют о том, что 69...87% фенотипической изменчивости обусловлено наследственными факторами, и отбор может быть эффективен. При скрещиваниях также необходимо учитывать, что влияние отцовских компонентов на длину корня незначительно.

Изучение наследования ростовых параметров проростков в нормальных и стрессовых условиях не дает полной информации о наследовании устойчивости к ионам алюминия. Поэтому был определен коэффициент наследования индекса длины корней для определения вкладов родительских компонентов, несущих гены приспособленности. Устойчивость к стрессу, оцениваемая по значениям ИДК, не зависела существенно от отцовских форм и взаимодействия двух родителей, поэтому общий коэффициент наследования определялся только материнскими компонентами.

Выводы. В результате изучения сортов и гибридных популяций яровой мягкой пшеницы в фазу проростков в условиях рулонной культуры высокую общую комбинационную способность ростовых признаков (длина зародышевых корней, масса корней и ростков) имели сорта Баганская 95, Карабалыкская 98

и Jasna. По способности противостоять стрессу (по величине ИДК) высокой ОКС характеризовались материнский сорт Алтайская 530 и тестер Горноуральская.

Наиболее перспективными по потенциальной продуктивности можно считать гибридные комбинации Алтайская 530 х Лютесценс 30, Баганская 95 х Серебристая, Тюменская 26 х Jasna, по устойчивости к алюминию – Алтайская 530 х Серебристая, Алтайская 530 х Jasna, Баганская 95 х Лютесценс 30, Карабалыкская 98 х Лютесценс 30, Тюменская 26 х Серебристая.

Высокие коэффициенты наследуемости параметров проростков позволяют проводить эффективный отбор на начальном этапе развития растений. Влияние отцовских форм на длину корня было незначительно, а значения индекса длины корней у гибридов определялись главным образом материнскими компонентами.

Список литературы

1. Kochian L., Pineros M., Liu J., Magalhaes J. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance // Annual Review of Plant Biology. 2015. V. 66. P. 23.1-23.28. Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/271534788_Plant_Adaptation_to_Acid_Soils_The_Molecular_Basis_for_Crop_Aluminum_Resistance.
2. Szabo-Nagy A., Gyimes E., Vekic A. Aluminium toxicity in winter wheat // Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria. 2015. V.8. P. 95-103. Режим доступа: <http://www.acta.sapientia.ro/acta-alim/C8/alim8-9.pdf>.
3. Lin-Tong Yang, Yi-Ping Qi, Huan-Xin Jiang, Li-Song Chen. Roles of organic acid anion secretion in aluminium tolerance of higher plants // BioMed Research International. 2013. V. 2013. Article ID 173682, 16 p. <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2013/173682/>.
4. Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179 (3). С. 315-331. Режим доступа: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-331>.
5. Баталова Г.А., Широких И.Г., Тулякова М.В., Шевченко С.Н., Русакова И.И., Абубакирова Р.И., Жуйкова О.А. Некоторые результаты и вопросы методологии селекции овса на устойчивость к эдафическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 4 (47). С. 9-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23857046>.
6. Амосова Н.В., Николаева О.Н., Сынзыныс Б.И. Механизмы алюмотолерантности у культурных растений (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2007. №1. С. 36-41. Режим доступа: <http://www.agro-biology.ru/articles/1-2007amosova.pdf>.
7. Zhou G., Delhaize E., Zhou M., Ryan P.R. Biotechnological Solutions for Enhancing the Aluminium Resistance of Crop Plants. Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations. Croatia: InTech, 2011. pp. 119-142. Режим доступа: <https://www.intechopen.com/books/abiotic-stress-in-plants-mechanisms-and-adaptations/biotechnological-solutions-for-enhancing-the-aluminium-resistance-of-crop-plants/>.
8. Яковлева О.В., Капешинский А.М. Генетические основы устойчивости к токсичным ионам алюминия у разных видов. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23819788>.
9. Лисицын Е.М., Щенникова И.Н., Тиунова Л.Н. Полигенный характер алюмоустойчивости ячменя // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. №1. С. 10-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9455047>.
10. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. М.: Агропромиздат, 1991. 420 с. Режим доступа: <https://www.libex.ru/detail/book734752.html>.
11. Алексеева-Попова Н.В. Клеточно-молекулярные механизмы металлоустойчивости растений. В сб.: Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л., 1991. С. 5-15. Режим доступа: <http://pdf.knigi-x.ru/21biolo-giya/204178-1-fiziologo-biohimicheskie-molekulyarno-geneticheskie-mehanizmi-ustoyc-hivosti-ras-teniyse-meystva-poaceae-tyazhelim-metalla.php>.
12. Жученко А.А. Мобилизация генетических ресурсов цветковых растений на основе их идентификации и систематизации. М., 2012. 584 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19503595>.

13. Карманенко И.М. Сортовая реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т.49. № 5. С. 66-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22488366>.

14. Марченкова Л.А., Давыдова Н.В., Чавдарь Р.Ф., Орлова Т.Г., Казаченко А.О., Грачева А.В., Штроколава А.В. Оценка адаптивности сортов и линий яровой пшеницы на фоне искусственно моделируемых стрессов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (151). С. 9-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220885>.

15. Лисицын Е.М., Амунова О.С. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 497-505. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23521651>.

16. Лисицын Е.М. Методика лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур // Доклады РАСХН. 2003. № 3. С. 5-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18029718>.

17. Kopittke P.M., Moor K.L., Lombi E., Gianoncelli A., Ferguson B.J., Blamey F.P. C. et al. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots // Plant Physiol. 2015. Vol. 167. P 1402-1411. DOI: 10.1104/pp.114.253229.

Поступила: 12.07.2018 Принята к опубликованию: 06.02.2019

Сведения об авторах:

Волкова Людмила Владиславовна, кандидат биол. наук, зав. лабораторией ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Амунова Оксана Сергеевна, кандидат биол. наук, мл. научный сотрудник ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

References

1. Kochian L., Pineros M., Liu J., Magalhaes J. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance // Annual Review of Plant Biology. 2015. Vol. 66. pp. 23.1-23.28. URL: https://www.researchgate.net/publication/271534788_Plant_Adaptation_to_Acid_Soils_The_Molecular_Basis_for_Crop_Aluminum_Resistance.

2. Szabo-Nagy A., Gyimes E., Veha A. Aluminium toxicity in winter wheat // Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria. 2015. Vol. 8. pp. 95-103. URL: <http://www.acta.sapientia.ro/acta-alim/C8/alim8-9.pdf>.

3. Lin-Tong Yang, Yi-Ping Qi, Huan-Xin Jiang, Li-Song Chen. Roles of organic acid anion secretion in aluminium tolerance of higher plants // BioMed Research International. 2013. Vol. 2013. Article ID 173682, 16 p. URL: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2013/173682/>.

4. Yakovleva O.V. *Fitotoksichnost' ionov alyuminiya*. [Phytotoxicity of aluminum ions]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii*. 2018. Vol. 179 (3). pp. 315-331. (In Russ.). URL: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-331>.

5. Batalova G.A., Shirokikh I.G., Tulyakova M.V., Shevchenko S.N., Rusakova I.I., Abubakirova R.I., Zhuykova O.A. *Nekotorye rezul'taty i voprosy metodologii seleksii ovsy na ustoychivost' k edaficheskomu stress*. [Some results and methodical aspects of oats breeding for resistance against edaphic stress]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2015. no. 4 (47). pp. 9-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23857046>.

6. Amosova N.V., Nikolaeva O.N., Synzynys B.I. *Mekhanizmy alyu-motolerantnosti u kul'turnykh rasteniy (obzor)*. [Mechanisms of aluminum tolerance in cultivated plants (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2007. no.1. pp. 36-41. (In Russ.). URL: <http://www.agrobiology.ru/articles/1-2007amosova.pdf>.

7. Zhou G., Delhaize E., Zhou M., Ryan P.R. Biotechnological Solutions for Enhancing the Aluminium Resistance of Crop Plants. Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations. Croatia: InTech, 2011. pp. 119-142. URL: <https://www.intechopen.com/books/abiotic-stress-in-plants-mechanisms-and-adaptations/biotechnological-solutions-for-enhancing-the-aluminium-resistance-of-crop-plants/>.

8. Yakovleva O.V., Kapeshinskiy A.M. *Geneticheskie osnovy ustoychivosti k toksichnym ionam alyuminiya u raznykh vidov zlakov*. [Genetic basis of resistance to toxic aluminum ions in different species of cereals]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii*. Saint Petersburg: VIR, 2012. Vol. 170. pp. 45-57. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23819788>.

9. Lisitsyn E.M., Shchennikova I.N., Tiunova L.N. *Poligennyi kharakter alyumoustoychivosti yachmenya*. [Polygenic nature of alumostability in barley]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2007. no. 1. pp. 10-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9455047>.

10. Klimashevskiy E.L. *Geneticheskiy aspekt mineral'nogo pitaniya rasteniy*. [The genetic aspect of mineral nutrition of plants]. Moscow: Agropromizdat, 1991. 420 p. (In Russ.). URL: <https://www.libex.ru/detail/book/734752.html>.

11. Alekseeva-Popova N.V. *Kletочно-molekulyarnye mekhanizmy me-talloustoychivosti rasteniy*. [Cellular molecular mechanisms of metal resistance of plants]. *V sb.: Ustoychivost' k tyazhelym metallam dikorastushchikh vidov*. [In Proc.: Resistance to heavy metals of wild species]. Leningrad, 1991. pp. 5-15. (In Russ.). URL: <http://pdf.knigi-x.ru/21biologiya/204178-1-fiziologo-biohimicheskie-molekulyarno-geneticheskie-mehanizmi-ustoychivosti-raste-niy-semeystva-poaceae-tyazhelim-metalla.php>.
12. Zhuchenko A.A. *Mobilizatsiya geneticheskikh resursov tsvetkovykh rasteniy na osnove ikh identifikatsii i sistematizatsii*. [Mobilization of genetic resources of flowering plants on the base of their identification and systematization]. Moscow, 2012. 584 p. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19503595>
13. Karmanenko I.M. *Sortovaya reaktsiya zernovykh kul'tur na nizkie temperatury, usloviya zakisleniya i iony alyuminiya*. [Response to low temperature, soil acidification and aluminum in the varieties of cereal crops]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2014. Vol. 49. no. 5. pp. 66-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22488366>.
14. Marchenkova L.A., Davydova N.V., Chavdar' R.F., Orlova T.G., Kazachenko A.O., Gracheva A.V., Shtrokolava A.V. *Otsenka adaptivnosti sortov i liniy yarovoy pshenitsy na fone iskusstvenno modeliruemykh stressov*. [Adaptability evaluation of spring wheat varieties and breeding lines under the conditions of artificially modeled stress factors]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. no. 5 (151). pp. 9-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220885>.
15. Lisitsyn E.M., Amunova O.S. *Geneticheskoe raznoobrazie sortov yarovoy myagkoy pshenitsy po alyumoustoychivosti*. [Genetic variability of spring soft wheat varieties in aluminum tolerance]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2014. Vol. 18. no. 3. pp. 497-505. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23521651>.
16. Lisitsyn E.M. *Metodika laboratornoy otsenki alyumoustoychivosti zernovykh kul'tur*. [Methods for laboratory evaluation of aluminum resistance in grain crops]. *Doklady RASKhN*. 2003. no. 3. pp. 5-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18029718>
17. Kopittke P.M., Moor K.L., Lombi E., Gianoncelli A., Ferguson B.J., Blamey F.P. C. et al. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots // *Plant Physiol*. 2015. Vol. 167. pp 1402-1411. DOI: 10.1104/pp.114.253229.

Received: 12.07.2018

Accepted for publication: 06.02.2019

Information about the authors:

Lyudmila V. Volkova, PhD in biology, head of laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Oksana S. Amunova, PhD in biology, associate researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

The development of the Fungal Resources Conservation System «One District, One Herbarium and Five Banks» and its application on Qinghai-Tibet Plateau*

© 2019. Yu Li, Qi Wang

Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, Changchun, China

Biodiversity is closely related to human health and ecological environment. It has become very important due to its influence on the economic and political strategies of various countries. Fungal diversity is an important part of biodiversity and is of great significance in maintaining the balance of ecosystems. On the basis of fungal diversity studies the innovative conservation system «One district, one herbarium and five banks» was proposed and later applied on Qinghai-Tibet Plateau. In order to protect important fungal resources a conservation district of Yajiang Matsutake Reserve was established in Sichuan Province. To preserve the species, genetics and local natural fungal resources, the herbarium, the spawn bank, the viable tissue bank, the gene bank, the compound bank, and the comprehensive information bank were created, which resulted in the systematic protection of fungal diversity on Qinghai-Tibet Plateau and provided support for the sustainable use of fungi. Innovation and integration of the protection system of fungal resources and key technologies for sustainable utilization not only restore the ecological environment of important wild Fungal resources but also screen and cultivate new varieties of edible and medicinal fungi. It has been promoted and demonstrated and gave significant ecological, social and economic benefits.

Keywords: Fungi, slime mold, diversity, *Tricholoma matsutake*, edible and medicinal mushroom

For citation: Yu Li, Qi Wang The development of the Fungal Resources Conservation System «One District, One Herbarium and Five Banks» and its application on Qinghai-Tibet Plateau, China. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):29-35. DOI: 10/30766/2072-9081.2019.20.1.29-35.

Развитие системы сохранения грибных ресурсов «Один район, один гербарий и пять банков» и ее применение на Цинхай-Тибетском плато

© 2019. Юй Ли, Ци Ван

Центр инженерных исследований Китайского Министерства Образования по пищевым и лекарственным грибам, Цилиньский Сельскохозяйственный университет, Чанчунь, Китай

*Сохранение биологического разнообразия приобрело в современном мире важное значение, как фактор, определяющий экономическое и политическое развитие отдельных государств, поскольку тесно связано с качеством жизни человека и стабильностью окружающей среды. Видовое разнообразие грибов – существенная часть общего биологического разнообразия, обеспечивающая устойчивое функционирование экосистем. На основании научных исследований для практического использования разработана инновационная система сохранения биологического разнообразия грибов под названием «Один район, один гербарий и пять банков», которую в Китае успешно реализовали в районе Тибетского Нагорья. С целью охраны уникальных грибных ресурсов, в уезде Яцзян, провинции Сычуань, был организован заповедник по воспроизводству грибов вида мацутаке (*Tricholoma matsutake*). Для того, чтобы сохранить в природе уникальные виды, исследованы их генетические особенности, природные комплексы среды обитания, оценены ресурсные запасы грибов местных видов, собран микологический гербарий, созданы банки мицелиальных культур, гермоплазмы, генетических источников, ценных метаболитов и базы данных с максимально полной информацией, которые обеспечивают систему защиты грибного разнообразия в пределах Тибетского Нагорья и способствуют поддержанию баланса между постоянным возобновлением грибных ресурсов и их экологически безопасной промышленной заготовкой. Инновационный и интеграционный характер системы охраны грибных ресурсов, а также базовые технологии возобновления и рационального использования крупнейших запасов дикорастущих грибов не только способствуют восстановлению экологической среды, но также позволяют отбирать в природе и вводить в культуру новые виды пищевых и лекарственных грибов. Внедрение системы охраны грибных ресурсов обеспечило высокие результаты в сферах экологии, общественной жизни и экономики.*

Ключевые слова: грибы, миксомицет, разнообразие, *Tricholoma matsutake*, пищевой и лекарственный гриб

Для цитирования: Юй Ли, Ци Ван. Развитие системы сохранения грибных ресурсов «Один район, один гербарий и пять банков» и ее применение на Цинхай-Тибетском плато, Китай. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(1):29-35. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.29-35.

*The work was supported by National Key Technologies R&D Program (2012BAC01B04).

As an independent kingdom of eukaryotes, fungi have a large number of species. Hawksworth [1, 2, 3] estimated the number of fungal species in the world to be 1.5 million. Subsequently, Blackwell [4] established that the actual range of global fungal diversity was between 800,000 and 5.1 million species. With the advance of sequencing of large-scale environmental samples, the researchers believe that previous reports overestimated the fungal abundance by about 1.5 to 2.5 times [5]. Nonetheless, the global fungal number remains vast. However, only 100,000 species have been reported worldwide [6], which is less than 5% of the estimated number, and only 1% of those known species have been sequenced [7, 8]. At present, there are about 27,900 species recorded in China which belong to 3534 genera, 585 families, 192 orders, 56 classes, 15 phyla [9].

Fungal diversity is one of the important factors affecting the balance of the ecosystem. In addition to being an important decomposer of the earth's ecosystem, fungi also form close relationships with other organisms to realize carbon cycle and energy flow in the ecosystem, promote nutrient absorption of plants, enhance plant stress resistance and improve productivity [5, 10]. In addition, the diversity of edible and medicinal fungi is closely related to human health and environmental protection, and has become one of the main factors affecting the economic and political strategies of many countries. Currently, 1789 species of edible fungi and 798 species of medicinal fungi have been reported in China [11]. More than 100 species of fungi have been domesticated and cultivated, and 60% of them have been commercially produced. The industry of edible and medicinal fungi not only provided people with food and filled their nutritional needs, but also raised employment level and allowed for earning money [9].

Due to climate and field usage change, environmental pollution, nitrogen deposition, habitat loss and fragmentation, fungal diversity is under a threat that cannot be ignored, and some species have disappeared from the earth before being discovered [12, 13]. However, at a global, regional and local scale basic data such as fungal species and their gene sequences are still insufficient, and the influencing mechanism of fungal diversity is to be clarified, which makes the work on fungal diversity conservation extremely difficult [14].

Therefore, large-scale systematic collection, rapid and accurate identification of fungi are important prerequisites for study and protection of fungal diversity. A crucial component of biodiver-

sity protection is to establish a protection system of fungal resources.

The important tasks in implementing protection of fungal diversity include establishing fungal conservation centers, the mycological herbarium, the culture preservation center, the database of all kinds of information, and evaluation mechanisms of fungal diversity. The "One Conservation, One Herbarium and Five Banks" protection system of mycological diversity includes the Mycological conservation, the Mycological herbarium, the Spawn bank, the Viable tissue bank, the Compound bank, the Gene bank and the Comprehensive information bank to protect fungal resources regarding species, heredity and functions.

China has three ecological regions, namely: the eastern monsoon ecological, the northwest arid ecological and the Qinghai-Tibet alpine ecological regions. The Qinghai-Tibet plateau is the largest plateau with the highest average altitude in the world and is known as the "World's Third Pole". This region contains several typical ecological types: the alpine forests, the alpine meadow, the alpine desert and semi-desert. The special environment and physiognomy of the Qinghai-Tibet plateau ensures unique biological diversity. However, the extent of fungal resources existing within the Qinghai-Tibet plateau is still uncertain. With the accelerated development and commercial production of *Cordyceps sinensis*, matsutake and other rare fungi in recent years, fungal resources have been threatened and destroyed on Qinghai-Tibet plateau. In order to further promote the study and protect the fungal diversity on Qinghai-Tibet plateau from 2012 to 2015 our research group conducted dedicated applied research and implemented the "One District, One Herbarium and Five Banks" system for conservation of the fungal resources in Tibet.

Functional positioning of the "One District, One Herbarium and Five banks" fungal diversity protection system. After years of mycological researches and the promoting of the edible and medicinal fungal industry, academician Li Yu took the protection and sustainable utilization of fungal diversity as the basic foundation of the fungal resource protection system and established the operational framework of the "One District, One Herbarium and Five Banks" system.

"One District": In the conservation area important and rare fungi (mainly edible and medicinal fungi) are protected in situ;

"One Herbarium": the herbarium organizes, identifies and preserves all fungal specimens collected from the area;

"Five banks":

Spawn bank: separation, identification, succession and preservation of the fresh specimens;

Viable tissue bank: the samples of fruiting bodies are dried quickly to be preserved;

Gene bank: preservation of genomic DNA, ITS and other gene fragment information;

Compound bank: preserves the main chemical components, active components and spectral information of important edible and medicinal fungi;

Comprehensive information bank: preserves comprehensive information of specimens, including Latin nomenclature, classification status, collection information, photographic images, viable tissue, strain, geographical information (longitude, latitude, altitude) etc.

Based on traditional herbaria, spawn preservation centers and biological gene banks, integrated research has been conducted with the professional perspective of spawn resource classification to increase conservation areas, viable tissue libraries, compound libraries and comprehensive information databases. It should improve the function, the efficiency and the application of the spawn diversity protection system. China will play a positive role in biological protection, scientific and technological research and development, industrial promotion, personnel training, and promote the development and innovation of agriculture, biology, medicine and other industries.

Establishment of "One District, One Herbarium and Five Banks" system on Qinghai-Tibet plateau. The Qinghai-Tibet plateau has a complex topography. The population is small, many places such as the Yarlung Zangbo Grand Canyon, have high mountains and deep valleys, the greater part of the areas is almost uninhabited and it provides shelter for rare fungal species. However, the increase in collecting activities in some areas will impact the growth of rare mushrooms on Qinghai-Tibet plateau. Therefore, it is very important to strengthen initiatives to protect macrofungi in these areas. The following areas on Qinghai-Tibet plateau are the main collection areas based on their ecological types and vegetation distributions: Nyingchi, Qamdo, Nagqu, Shigatse, Shannan, Aba Tibetan Autonomous Prefecture, Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture, Diqing Tibetan Autonomous Prefecture, Sanjiangyuan and Golmud.

Through field investigation, classification and identification of fungal resources in the representative areas of Qinghai-Tibet plateau, nearly 13,000 macrofungal specimens, belonging to 27 classes, 22 orders, 70 families and 273 genera

were obtained. Nearly 2,800 myxomycetes specimens belonging to 1 class, 5 orders, 8 families, 25 genera and 94 species were defined. Identification was conducted on cellular slime molds from 17 species, belonging to 1 class, 1 order and 2 families. On the basis of fungi diversity investigation, the conservation system of "One District, One Herbarium and Five Banks" of Qinghai-Tibet plateau flora resources was established for comprehensive protection of fungal species diversity, genetic diversity and ecological diversity.

The mycological conservation area. In terms of the selection and division of the mycological conservation areas, the priority of our research group was to select the conservation areas with the aim of species protection. At the same time, in the management of conservation areas, not only the population and quantity of protected species should be considered, but also other factors, such as local vegetation, ecosystems, endemic species, threatened species, economic and social conditions [15, 16].

From the beginning of 1980s, *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) has become the main source of income for Yajiang farmers. A large number of local people flocked to Songrong Mountain for fungal collection. However, due to the lack of biological knowledge on proper collection protocols, they destroyed the environmental conditions for further growth of *T. matsutake*. With the economic development, the Matsutake industry has a great potential. For a long time, the development of China's Matsutake industry was low, and it remained at that level of original acquisition, primary processing, and semi-finished products export. There is a serious lack of deep processing with high added value.

According to the characteristics of rare fungal resources on Qinghai-Tibet plateau, Sichuan Matsutake is mainly distributed in alpine valleys of 3000-500 m altitude, the main forest types are alpine oak forests, alpine pine and alpine mixed forests. Considering the geographical distribution, biological and habitat characteristics of *Tricholoma matsutake* resources, in August 2013 at the conference "China Matsutake Industry Development Summit" held in Chengdu, academician Yu Li signed a cooperation agreement on the conservation of matsutake resources with Gexigou Nature Reserve of Yajiang County, People's Government - "Wild Edible Mushroom Resource Conservation Cooperation Agreement". After that the Matsutake conservation area was built in Yajiang, Sichuan.

Combined with fungal resources research and market exploration, the requirements of collecting, purchasing and standardizing the harvesting of matsutake were put forward for the matsutake harvesting in conservation base, including the collection of matsutake, acquisition standards, acquisition requirements, transportation and preservation conditions of *T. matsutake*. Through contractual operation and closed off hillsides for matsutake conservation the forest ecosystem benefits have been significantly improved. According to the needs of protection management, perennial monitoring of major protected objects such as matsutake and their habitats, the basic data were obtained, laying the foundation for monographic scientific research, provided with a demonstration of sustainable conservation and development of Matsutake resources.

The Herbarium. Biological specimens are the basic materials for scientific research, it is a direct document reflecting the diversity of species. Species are the basic unit that constitutes the diversity of ecosystems, and it is also the main carrier of genetic diversity [17, 18]. In the historical development of human society, species are the important resources upon which natural productivity depends and there is a need to protect it.

The Qinghai-Tibet Plateau mycological herbarium is mainly composed of dried fruiting bodies of macrofungi and myxomycetes collected in this region. At present, from localities such as Tibet, Qinghai, Diqing Tibetan Autonomous Prefecture of Yunnan, Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture of Sichuan, Aba Tibetan Autonomous Prefecture of Sichuan and Gannan Tibetan Autonomous Prefecture of Gansu, nearly 13,000 specimens of macrofungi and 2800 specimens of myxomycetes were collected.

The Qinghai-Tibet Plateau mycological herbarium was built in Jilin Agricultural University according to the characteristics and technical requirements of the specimens. This mycological herbarium is provided with specimen boxes, specimen cabinets, dryers, low temperature refrigerators (-80 °C), air conditioners, carbon dioxide fire extinguishers and other equipment. The purpose of these items is to prevent fire, excess moisture, insects penetration and to maintain constant temperature conditions for the preservation of specimens. The room where the specimens are to be kept is equipped with air conditioners, liquid nitrogen fire extinguishers and other equipment. The room temperature is kept at 20-23 °C and the humidity is about 40%. The specimens are placed in sterile whirl-pack plastic bags together with the

desiccant, and the bags are put into the specimen boxes. These specimen boxes are labeled with the basic information such as the species name, specimen number, the place and date of collection, as well as the name of the collector. These samples are stored in specimen cabinets, chronologically. The status of specimens should be regularly checked.

Spawn bank. Edible and medicinal fungal spawns are important biological resources, which are the basis for the implementation of production and scientific research. Good spawns are easily degraded especially after long-term use; it leads to the need for preservation of these spawns for sustained usage.

Wild edible and medicinal fungi in Qinghai-Tibet plateau were collected according to the characteristics of high development potential, high economic value, prominent medicinal efficacy, tissue isolation and spawn. The rare edible and medicinal fungi in this region were obtained for breeding and preservation.

The Qinghai-Tibet Plateau spawn bank is equipped with a low-temperature warehouse of 4°C, an ultra-low temperature warehouse of -80°C and a liquid nitrogen storage bank. The fruiting bodies of edible and medicinal fungi were classified in the field, purified cultured and species identification under the laboratory conditions. According to the biological characteristics of these spawns, they were inoculated into suitable media and cultured under appropriate conditions. After growing adequately, the fruiting bodies of edible and medicinal fungi were preserved at 4°C and sub-cultured regularly. Some mycelia or spores of rare fungi were stored in freezing tubes containing glycerol, in freezers at - 80°C or in liquid nitrogen tanks. At present, there are 426 spawns in Qinghai-Tibet plateau spawn bank, including many rare edible and medicinal spawn.

Viable tissue bank. Population genetic structure variation of organisms is the result of a combination of factors such as population evolution, distribution, and breeding, which reflects the adaptability and evolutionary potential of population units, and is also related to the formulation of strategies and measures for species protection and rejuvenation [19]. Efficient access to genetic information of important biological populations is the necessary basis for this work. Viable tissue can preserve the genetic information of fungal species quickly and efficiently.

After collecting fresh fruiting bodies, 1~2 cm dissected specimens, wrapped in paper with good air access should be dried in 2 ml

centrifugal tube containing discolored silica gel. According to the color changes of those silica gel, the silica gel should be replaced for rapid drying of materials. During the time of fungi field collection on Qinghai-Tibet plateau, nearly 3000 living tissues were obtained. The genome information of these samples was effectively preserved, which would provide basic materials for the following research.

Gene bank. Mycology genomic DNA is one of the most important genetic materials. High-quality DNA should meet certain standards in genomic integrity, purity, concentration and content. The length of genomic DNA used for preservation should be greater than 15kb; purity should be $1.8 \leq A_{260}/A_{280} \leq 2.0$, showing a single bright band in gel electrophoresis detection; genomic DNA concentration must not be less than $100 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$, volume no less than $100 \mu\text{L}$; each sample stored in 3 tubes, stored in -80°C cryogenic refrigerator for extended periods of time, and the quality of samples regularly sampled at random, and replacement samples are updated in time.

Nowadays, the DNA barcode is an important reference for taxonomy and molecular biology. ITS rDNA can clarify the resolution of fungal species up to 72%. It is the single DNA fragment with the highest resolution of fungal species. ITS was officially recommended as the preferred DNA barcode for fungi at the 4th International Conference on Life Barcode held in Adelaide, Australia, in 2011. The ITS1-5.8S-ITS2 region was amplified by ITS universal primers [20, 21]. For ITS barcode amplification of important fungal species, it is necessary to maximize the coverage of the survey area in different individual collection sites of the same species during field investigation. According to the requirements of the International Barcode of Life Project (iBOL Project <http://ibol.org/phase1/>) and the regional ecological environment differences [22], 6-12 individuals of each species are selected for DNA extraction and ITS barcode amplification. Preserved voucher specimens are maintained in the herbarium and with established species identification reference databases help to obtain more complete population genetic information [23, 24].

Nearly 7000 genomic DNA fragments and 6000 ITS ribosome fragments were obtained from fungal specimens collected on Qinghai-Tibet plateau. The gene bank of important fungi collected from this region was established in population and above genus levels, including *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora, *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer, *Floccularia luteovirens* (Alb.

& Schwein.) Pouzar, *Boletus*, and those corresponding sequence tag information bank.

Compound bank. Fungi is one of the important sources of active natural products, and their metabolites play an important role in many different drug researches and developmental strategies. The discovery of new species of fungi and the development of new compounds had great significance to the screening of active ingredients, the discovery of lead compounds and the evaluation of the nutritional quality of edible and medicinal fungi.

Compound bank includes pre-isolated active sites extracted from edible and medicinal fungi samples, monomer compounds, and corresponding spectral data information. Pre-isolation active sites were mainly filtrated and crude polar extracts of mycelia, wild or cultivated fruiting bodies from liquid fermentation of edible and medicinal fungi [25]; monomer compounds included pure natural products with purity of more than 80% and no repetitive structure [26]; spectral data were mainly ^{13}C -NMR, ^1H -NR, DEPT, HMBC, HMQC, H-H COSY corresponding to monomer compounds and GC-MS data of pre-separated lipid-soluble components.

The 986 kinds of lipid-soluble components, more than 70 monomer compounds and their related spectral data from nearly 20 species of rare fungi, such as *F. luteovirens*, *Sarcodon imbricatus* (L.) P. Karst., *T. aurantialba*, *O. sinensis*, collected in Qinghai-Tibet Plateau were obtained.

Comprehensive information bank. In order to research and utilize the fungal resources more effectively, a comprehensive database of fungal resources was established by means of computer database technology. Information in the database includes the following: collection number, the date of collection, name of the collector, photographic images, viable tissue, strain, Chinese name, Latin name, geographic information (Longitude, latitude, altitude), names of collecting location, corresponding genetic information and compound information. Information can be quickly searched according to the collection number or Latin name of the specimen. Microsoft Office Access database was used in the information bank on Qinghai-Tibet Plateau.

Prospect. At present, the total number of fungal resources in China is still uncertain. Mushrooms of economic importance as well as rare mushrooms are greatly endangered and destroyed because their living conditions are affected by excessive artificial collection and production. Research on fungal resources in China is in the development stage, there are still many unknown areas to explore, and technical problems need to

be addressed and overcome. The authoritative database of fungal resources can provide strong support for the study of fungal resources, and promote the research in many aspects. These include: the pattern of fungal resources, planning for conservation of fungal resources, its response to global changes, prediction of invasive exotic species, effectively monitoring the flow and protection of fungal germplasm resources, which also play an important role in the study of fungi and provides important support for the study of fungal resources.

In the study of Chinese fungal resources, the implementation of effective fungal resource conservation mechanisms is still a weak link, and needs more infrastructure development. The ecosystems of China are very rich, including the main types of terrestrial ecosystems on the earth, such as forests, shrubs, grasslands, meadows, deserts, and tundra. By the end of 2015, China had 2740 nature reserves with a total area of about 1.47 million km²: there were 525 nature reserves with wild animals as the main protection type (including 109 national protected areas), covering an area of 387,000 km²; 156 nature reserves with wild plants as the main protection type (including 19 national protected areas), and 17,000 km² national protected areas. The nature reserves with fungi as the main object for protection is countless.

In addition, research on conservation biology based on biodiversity still lacks information mechanism and theoretical systems, research methods are also controversial [27, 28, 29]. At present, the work of biodiversity assessment and conservation mainly focuses on animals and plants [30, 31], and there is a lack of theoretical research on the distribution pattern of fungal biodiversity, and the implementation of the biodiversity protection system combined with it is also to be explored in many ways.

The establishment of the “One District, One Herbarium and Five Banks” conservation system

for fungal resources is different from the traditional researches at home and abroad, which is also different from the traditional mycological herbarium (collection of specimens for resource investigation or separation of preserved strain for application), it includes the establishment of the conservation, the viable tissue bank, the gene bank, the compound bank, and the information bank. Fungal resources are protected while these species diversity is preserved in ecological function of population, genetic information, and chemical information.

Meanwhile, the Metabarcoding technology has been used to improve the species diversity of fungi in the forests of the Eastern Qinghai-Tibet Plateau. A lot of potential species have been found, which is not only an important supplement to the information of specimens but also fundamental information for the study of fungal diversity on Qinghai-Tibet Plateau. At the same time, it also provided a reference for improving the methods of investigation of fungal resources and the construction of the protection system.

On the other hand, the research results of the conservation system “One District, One Herbarium and Five Banks” of fungal resources on Qinghai-Tibet Plateau provided not only the data for fungal diversity and the influencing factors of these changes, but also a firm foundation for a series of key technical researches such as domestication of rare strains, production of active substances and development of functional genes [32, 33, 34]. It provided the advanced theoretical basis, technical means and scientific methods for the development of edible and medicinal fungal industry on Qinghai-Tibet Plateau, and realized the sustainable development of a variety of rare and common fungi in this region. The developmental direction of conservation and sustainable utilization of fungal resources is supported by the preservation and utilization of fungal resources.

References

1. Hawksworth D.L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research*. 1991. Vol. 95. pp. 641-655.
2. Hawksworth D.L. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*. 2001. Vol. 105. pp. 1422-1432.
3. Hawksworth D.L. Global species numbers of fungi: are tropical studies and molecular approaches contributing to a more robust estimate? *Biodiversity and Conservation*. 2012. Vol. 21. pp. 2425-2433
4. Blackwell M. The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? *American Journal of Botany*. 2011. Vol. 98. no. 2. Pp. 426-438.
5. Tedersoo L., Bahram M., Pölme S., et al. Global diversity and geography of soil fungi. *Science*. 2014. Vol. 346. no. 6213. pp. 1-11.
6. Kirk P.M., Cannon P.F., Minter D.W., Stalpers J.A. *Dictionary of the Fungi*, 10th edn. Oxon: CAB International, 2008.
7. Nilsson R.H., Ryberg M., Abarenkov K., Sjökvist E., Kristiansson E. The ITS region as a target for characterization of fungal communities using emerging sequencing technologies. *FEMS Microbiology Letters*. 2009. Vol. no. 296. pp. 97-101.
8. Begerow D., Nilsson H., Unterseher M., Maier W. Current state and perspectives of fungal DNA barcoding and rapid identification procedures. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010. Vol. no. 87. pp. 99-108.
9. Fang, R., et al. (2018). Country focus: China. In: K. J. Willis (ed.), *State of the World's Fungi*. Report. Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 48-55.

10. van der Heijden MGA, Klironomos J.N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A., Sanders I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*.1998. Vol. 396. pp. 69-72.
11. Institute of Microbiology., Chinese Academy of Sciences. (2018). Checklist of Fungi in China. URL: <http://124.16.146.175:8080/checklist/checklist.html>. [Accessed 10 May 2018]
12. Arnolds E (2001) The future of fungi in Europe: threats, conservation and management. In: *Fungal Conservation: Issues and Solutions* (eds Moore D, Nauta MM, Evans SE, Rotheroe M), pp. 64-80. Cambridge University Press, Cambridge
13. Turrini A., Giovannetti M. Arbuscular mycorrhizal fungi in national parks, nature reserves and protected areas worldwide: a strategic perspective for their in situ conservation. *Mycorrhiza*. 2012. Vol. 22. Pp. 81-97.
14. Krishnamurthy P.K. Francis R.A.A. critical review on the utility of DNA barcoding in biodiversity conservation. *Biodiversity and Conservation*. 2012. Vol. 21. pp. 1901-1919.
15. Shurong Wang, Qi Wang, Deli Wang, Yu Li*, *Gastroboletus thibetanus*: a new species from China. *Mycotaxon*. 2014. Vol. 129. no. 1. pp. 79-83.
16. Lombard A.T., Cowling R.M., Pressey R.L., Mustart P.J. Reserve selection in a species-rich and fragmented landscape on the Agulhas Plain, South Africa. *Conservation Biology*. 1997. Vol. 11. pp. 1101-1116.
17. Ando A, Camm J, Polasky S, Solow A (1998) Species distributions, land values, and efficient conservation. *Science*. Vol. 279. pp. 2126-2128.
18. Beattie A. J. *Australia's Biodiversity*. Chatswood: Reed Books, 1995
19. Futuyma D J. *Evolution*. 3rd Ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2013.
20. Meffe GK, CR Carroll , 1994. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.
21. Bellemain E., Carlsen T., Brochmann C., Coissac E., Taberlet P., Kausrud H. ITS as an environmental DNA barcode for fungi: an in silico approach reveals potential PCR biases. *BMC Microbiology*. 2010. Vol. 10. pp. 189.
22. Tedersoo L., Nilsson R.H., Abarenkov K., Jairus T., Sadam A., Saar I., Bahram M., Bechem E., Chuyong G., Kõljalg U. 454 Pyrosequencing and Sanger sequencing of tropical mycorrhizal fungi provide similar results but reveal substantial methodological biases. *New Phytologist*. 2010. Vol. 188. pp. 291-301.
23. Bergsten J., Bilton D.T., Fujisawa T. et al. The effect of geographical scale of sampling on DNA barcoding. *Systematic Biology*. 2012. Vol. 61. pp. 851-869.
24. Zhang A.B., He L.J., Crozier R.H. et al. Estimating sample sizes for DNA barcoding. *Molecular Phylogenetic and Evolution*. 2010. Vol. 54. pp. 1035-1039.
25. Matz M.V., Nielsen R. A likelihood ratio test for species membership based on DNA sequence data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2005. Vol. 360. pp. 1969-1974.
26. Abel U., Koch C., Speitling M., et al. Modern methods to produce natural product libraries. *Current Opinion in Chemical Biology*. 2002. Vol. 6 pp. 453-458.
27. Foissner W. Notes on the soil ciliate biota (Protozoa, Ciliophora) from the Shimba Hills in Kenya (Africa): diversity and description of three genera and ten new species. *Biodiversity Conservation*. 1999. Vol. 8. no. 3. pp. 319-389.
28. Harris RB (2007) *Wildlife Conservation in China: Preserving the Habitat of China's Wild West*. East Gate Books, Santa Barbara.
29. Lehmann S., Jackson A.D., Laurup B.E. Measures for measures. *Nature*. 2006. Vol. 444. pp. 1003-1004.
30. Guadarrama-Maillot V. The popularity of biodiversity. *Conservation Biology*. 2008. Vol. 22. pp. 233-234.
31. Meyer C., Kreft H., Guralnick R., Jetz W. Global priorities for an effective information basis of biodiversity distributions. *Nature Communications*. 2015. Vol. 6. no. 8221.
32. Meyer C., Weigelt P., Kreft H. Multidimensional biases, gaps and uncertainties in global plant occurrence information. *Ecology Letters*. 2016. Vol. 19. pp. 992-1006.
33. Liu Y., Zheng D.D., Su L., Wang Q., Li Y. Protective effect of polysaccharide from *Agaricus bisporus* in Tibet area of China against tetrachloride-induced acute liver injury in mice. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 118. pp. 1488-1493.
34. Liu Y., Zhou Y.F., Liu M.D., Wang Q., Li Y. Extraction optimization, characterization, antioxidant and immunomodulatory activities of a novel polysaccharide from the wild mushroom *Paxillus involutus*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 112. pp. 326-332.

Received: 9.01.2019

Accepted for publication: 18.02.2019

Information about the authors:

Yu Li, the professor, the director of Institute of mycology of Jilin agrarian university, a foreign member of RAS,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4719-7210>,

Qi Wang, Dr. Sci. Agric., the professor of mycology in Engineering Researcher of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, China, 130118, e-mail: qiwang@jlau.edu.cn

Поступила: 9.01.2019

Принята к публикации: 18.02.2019

Сведения об авторах:

Ли Юй, профессор, научный руководитель Цзилинского аграрного университета, иностранный член РАН, член Академии наук Китая, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4719-7210>,

Ци Ван, доктор с.-х. наук, профессор микологии Центра инженерных исследований Китайского Министерства Образования по пищевым и лекарственным грибам, Цзилинский Сельскохозяйственный университет, Чанчунь, Китай, 130118, e-mail: qiwang@jlau.edu.cn.

ОХОТОВЕДЕНИЕ / GAME MANAGEMENT

УДК 639.1:349.6: 342.951

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.36-47

Концептуальные основы развития охотничьего хозяйства Кировской области*

© 2019. М.Н. Андреев¹, И.А. Гребнев^{2,3,4}

¹Министерство лесного хозяйства Кировской области, г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», г. Киров, Российская Федерация,

³ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация,

⁴АНО «Институт природоресурсного и экологического права», г. Киров, Российская Федерация

Рассмотрены основные направления государственной политики в области охоты и сохранения охотничьих ресурсов, изложенные в Концепции развития охотничьего хозяйства Кировской области до 2020 года. Показана история создания, принципы, цель, задачи и методология концепции, основные проблемы, цели и задачи охотничьего природопользования в перспективе. Акцентируется внимание на том, что цель концепции сформулирована не как равновесная позиция различных отраслевых институтов – общественных, производственных и государственных, а, преимущественно, с точки зрения функций одного из них – государственного управления. В связи с этим концепция адресована, в первую очередь, государственным органам, задачей которых является создание необходимых условий для позитивного развития общественных отношений в рассматриваемой сфере деятельности. Проанализированы механизмы решения сложившихся проблем и текущие результаты выполнения основных положений концепции. Освещены особенности регионального регулирования отношений в сфере охоты и охотничьего хозяйства, в том числе в свете изменений отраслевого законодательства, реализации административной реформы, ухудшения экономической ситуации в регионе, повышения уровня угроз, связанных с распространением заболеваний охотничьих животных. Отражены факторы, влияющие на исполнение принимаемых решений и достижение поставленных в концепции целей и задач. Показана целесообразность осуществления региональной государственной политики в области охоты и охотничьего хозяйства на основе стратегических документов отраслевого развития. Предлагается повысить уровень межрегиональных взаимодействий при подготовке документов отраслевого развития.

Ключевые слова: охота и сохранение охотничьих ресурсов, экологические и социально-экономические проблемы охотничьего природопользования, цели и задачи регионального государственного управления охотой и охотничьим хозяйством, обеспечение устойчивого охотпользования

Для цитирования: Андреев М.Н., Гребнев И.А. Концептуальные основы развития охотничьего хозяйства Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):36-47. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.36-47.

Conceptual framework for the development of hunting industry in the Kirov region

© 2019. M.N. Andreev¹, I.A. Grebnev^{2,3,4}

¹Ministry of forestry of the Kirov region, Kirov, Russian Federation,

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agricultural Academy», Kirov, Russian Federation,

³Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Kirov, Russian Federation,

⁴The institute of ecological and natural resources law, Kirov, Russian Federation

The article reviewed the main directions of the state policy in the field of use and protection of hunting resources. They were set forth in the Concept of development of hunting industry of the Kirov region until 2020. The history of creation, the principles, purpose, objectives, methodology and structure of the concept, as well as the main problems, goals and aims of game resources use in future are presented. Attention is drawn to the fact that the purpose of the concept is formulated not as an equilibrium position of various sectoral research institutes – public, industrial and state, but, mainly, by the institute of public administration with regard to its functions. Due to this, the concept is addressed, first of all, to state bodies, as their task is to create the necessary conditions for the positive development of public relations in the sphere under study. The mechanisms of solving the existing problems and the current results of the implementation of the basic provisions of the concept have been analyzed.

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

The features of regional regulation of relations in the field of hunting and hunting industry have been examined. These features were influenced by changes in sectoral legislation, implementation of administrative reform, the deterioration of the economic situation in the region, increase in the amount of threats connected with the spread of diseases among game animals. The article informs on the factors affecting the execution of the decisions and achieving the concept goals and objectives. The expediency of the regional state policy implementation in the field of hunting and hunting industry on the basis of strategic documents of branch development has been confirmed. It is proposed to increase the level of interregional interactions in the preparation of sectoral development documents.

Key words: *hunting and conservation of hunting resources, environmental and socio-economic problems of game resources use, goals and objectives of the regional state management of hunting and hunting grounds, ensuring sustainable use of hunting resources*

For citation: Andreev M.N., Grebnev I.A. Conceptual framework for the development of hunting industry in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):36-47. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.36-47.

Охотничье хозяйство является традиционной отраслью природопользования, решающей комплекс задач в области охраны и использования животного мира, от сохранения биологического разнообразия и охраны видов и экосистем до обеспечения промышленности натуральным сырьем, оказания услуг в сфере охоты и природного туризма. К настоящему времени в отечественном охотничьем природопользовании сложился ряд проблем, имеющих долговременный характер и отрицательно влияющих на его экологическую и социально-экономическую эффективность. Рассмотрению этих проблем на уровне отдельно взятого субъекта Российской Федерации – Кировской области, принципам и механизмам их решения разработана Концепция развития охотничьего хозяйства Кировской области на период до 2020 года¹ (далее также – концепция), в подготовке которой авторы приняли непосредственное участие.

Цель исследования – освещение опыта разработки и реализации документа отраслевого стратегического развития в сфере охотничьего хозяйства – Концепции развития охотничьего хозяйства Кировской области, раскрытия её роли в обеспечении устойчивого охотничьего природопользования на территории региона и воздействия на формирование государственной политики в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов в других субъектах Российской Федерации.

Исследование истории разработки концепции, её влияния на деятельность охотпользователей и специально уполномоченных региональных государственных органов, анализ текущих итогов её реализации, выявление вопросов, решение которых необходимо для успешного осуществления на практике основных

положений изложенной в концепции государственной политики в области охоты и охотничьего хозяйства, связь с документами стратегического развития отрасли, принятыми в других регионах, стали задачами и определили содержание настоящей работы.

Актуальность и новизна исследования обуславливаются необходимостью осуществления комплексного, системного, учитывающего общие принципы и региональные особенности, научно обоснованного устойчивого использования охотничьих ресурсов и среды их обитания, эффективного государственного управления этим процессом на основе новых подходов и решений, их внедрения в практику охотпользования.

Материал и методы. Разработка Концепции развития охотничьего хозяйства Кировской области до 2020 года инициирована Правительством Кировской области в 2009 г. и проводилась в течение 11 месяцев. Необходимость её подготовки была вызвана потребностью в системном разрешении существующих в сфере охраны и использования животного мира проблем, обеспечении соблюдения природоохранных требований, улучшении существующего механизма пользования охотничьими ресурсами, совершенствовании государственного управления, повышении устойчивости регионального охотничьего природопользования в целом.

При разработке концепции учитывалось действующее законодательство, основные положения имевшихся на тот период документов стратегического развития охоты и охотничьего хозяйства федерального и регионального уровней, материалы научных исследований в сфере охотничьего природопользования.

¹Стратегия социально-экономического развития Кировской области на период до 2020 года, утвержденная постановлением Правительства области от 12.08.2008 № 142/319. Режим доступа: <https://www.kirovreg.ru/strategy/>

В числе источников концепции, оказавших значительное влияние на её содержание и структуру, необходимо указать на имеющие доктринальный характер научные публикации, посвященные охотничьему хозяйству России и эколого-экономическим аспектам устойчивого использования охотничьих ресурсов [1, 2], Концепцию развития и научного обеспечения охотничьего хозяйства России, Концепцию развития охотничьего хозяйства в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре на период до 2015 года [3, 4, 5] и Стратегию социально-экономического развития Кировской области на период до 2020 года², в разработке которой принимали участие авторы.

Для оценки состояния охотничьего хозяйства и выявления проблем охотхозяйственной деятельности наряду с отчетными данными и ведомственными материалами использовались результаты специально проведенного в период разработки концепции анкетирования юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих пользование объектами животного мира, отнесенными к объектам охоты.

В 2010 г., после окончания разработки, проект концепции был размещён на официальном Интернет-сайте Правительства Кировской области. В августе того же года Концепция развития охотничьего хозяйства Кировской области на период до 2020 года обсуждалась на заседании Правительства Кировской области, была им одобрена и утверждена распоряжением Правительства области № 295 от 17.08.2010 г.

При разработке концепции использовался проблемно ориентированный подход, в сочетании с системным и территориальным методами анализа, а также программно-целевой метод разработки управленческих решений. Для достижения целей концепции предусмотрено привлечение средств как из внебюджетных источников, так и из бюджетов всех уровней бюджетной системы Российской Федерации.

Результаты и их обсуждение. Разработанная в 2009-2010 гг. Концепция развития охотничьего хозяйства Кировской области до 2020 года представляет собой долговременный программный, увязанный по целям, задачам и механизмам их достижения документ, предпо-

лагающий поэтапное решение наиболее важных экологических, социальных и экономических проблем развития охоты и охотничьего хозяйства Кировской области. В нём изложены основные направления деятельности государственных органов и хозяйствующих субъектов в сфере охотничьего природопользования на 10-летнюю перспективу применительно к региону Европейской России, в котором охота и охотничье хозяйство имеют существенное экологическое и социально-экономическое значение.

При разработке концепции в соответствии с использованной методологией выделено шесть ключевых проблем охотничьего хозяйства региона:

1. Уменьшение охотничьей активности населения.

2. Недостаточный уровень теоретических и практических знаний, умений и навыков охотников по правилам охоты, охране труда и технике безопасности на охоте, соблюдению ветеринарно-санитарных требований.

3. Неоптимальная структура долгосрочного охотпользования.

4. Невысокая эффективность ведения охотничьего хозяйства коммерчески ориентированными охотпользователями, низкий уровень организации любительской и спортивной охоты.

5. Отставание действующей системы охраны и воспроизводства охотничьих ресурсов от современных природоохранных требований и ситуации, сложившейся в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов.

6. Снижение эффективности государственного управления в части осуществления контрольно-надзорных функций и услуг по выдаче разрешений на добычу охотничьих ресурсов, ведения государственного мониторинга охотничьих ресурсов, среды их обитания и др.

Указанные проблемы, а также основные направления их решения были сформулированы на основе анализа опыта ведения охотничьего хозяйства Кировской области и материалов находившегося в период подготовки концепции в стадии опубликования исследования, посвященного проблемам охоты и охотничьего хозяйства Европейской России и путям их разрешения [3].

²Концепция развития охотничьего хозяйства Кировской области на период до 2020 года. Режим доступа: https://www.kirovreg.ru/power/executive/upr_animal/concept_development_of_hunting_kirov_region.php

Наряду с отраслевыми проблемами концепцией определён ряд принципов, в соответствии с которыми органы государственного управления и охотпользователи должны развивать охотничье хозяйство области. Всего таких принципов сформулировано десять. Семь из них – общие принципы деятельности в области охраны и использования животного мира, охоты и сохранения охотничьих ресурсов, закреплённые федеральным и областным законодательством и три принципа – признание охоты социально-культурной ценностью, право всех граждан и субъектов хозяйствования Кировской области и Российской Федерации заниматься охотой и ведением охотничьего хозяйства, платность реализации права пользования охотничьими ресурсами, совмещенная с предупреждением установления пресекательных финансовых и иных обременений заимствованы из Концепции развития и научного обеспечения охотничьего хозяйства России и Концепции развития охотничьего хозяйства в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре на период до 2015 года [4, 5], как соответствующие социально-экономическим условиям Кировской области. Также при разработке рассматриваемой концепции учитывался опыт создания и структура этих документов.

Исходя из проблем и принципиальных подходов к их решению сформулирована цель концепции – создание правовых, организационно-экономических и экологических условий, обеспечивающих устойчивое ведение охоты и охотничьего хозяйства на территории Кировской области, основанное на непрерывном и неистощительном использовании охотничьих ресурсов, сохранении их биологического разнообразия и обеспечении прав граждан на охоту независимо от востребованности и текущей возможности реализации этого права.

Как следует из определения, цель концепции сформулирована не как равновесная позиция различных отраслевых институтов – общественных, производственных и государственных, а, преимущественно, с точки зрения функций одного из них – государственного управления и соответственно адресована, в первую очередь, государственным органам, задачей которых как раз и является создание вышеуказанных условий.

Такой подход к определению цели обусловлен рядом причин:

- отсутствие на региональном уровне системного специально уполномоченного органа государственного управления охотой и

охотничьим хозяйством. В Кировской области и в других субъектах Российской Федерации функции специально уполномоченных в области охраны и использования животного мира государственных органов ограничены охраной, надзором и регулированием использования объектов животного мира и среды их обитания, включая охотничьи ресурсы, и не охватывают сферу охоты и охотничьего хозяйства в целом;

- фактическая неготовность различных отраслевых субъектов выработать единую позицию в отношении путей развития отрасли и обеспечивать её осуществление на практике;

- позиция авторов, как непосредственных разработчиков концепции, полагающих, что именно совершенствование государственного управления является отправной точкой обеспечения устойчивого ведения охоты и охотничьего хозяйства региона.

На основе цели сформулированы задачи концепции:

- обеспечение и защита прав граждан, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на охоту и доступ к охотничьим ресурсам, учет интересов местного населения при осуществлении пользования объектами животного мира, отнесенными к объектам охоты;

- развитие инновационных и модернизация существующих производств, направлений и технологий охотхозяйственной деятельности;

- оптимизация регионального государственного управления в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов (включая вопросы системы и структуры областных органов исполнительной власти, разделения контрольно-надзорных функций, нормативно-правового регулирования и оказания государственных услуг в сфере охраны и использования животного мира);

- совершенствование механизма устойчивого существования охотничьих ресурсов и обновление комплекса мероприятий по рациональному ведению охотничьего хозяйства, в том числе: разработка научно обоснованного охотустройства, методов и норм регулирования охоты; решение территориальных вопросов охраны охотничьих ресурсов через развитие системы территорий с ограниченным режимом охотпользования; определение, разработка и реализация пилотных проектов в сфере охраны и использования охотничьих животных и среды их обитания;

- развитие организованной охоты и охотничьего туризма;

– рост денежных поступлений в бюджеты всех уровней от охотхозяйственной деятельности.

Следует отметить, что проект концепции был предварительно размещён для обсуждения на официальном Интернет-сайте Правительства Кировской области и замечаний на него не поступило. В дальнейшем, после утверждения концепции на совещаниях и иных публичных мероприятиях высказывались предложения о необходимости её доработки по следующим направлениям:

– предлагалось включить в число задач концепции положение о необходимости проведения работ по охране и воспроизводству объектов животного мира, отнесённых к объектам охоты, и среды их обитания в закреплённых охотничьих угодьях за счёт консолидированных бюджетных средств. Предложение обосновывалось значительными затратами охотпользователей на проведение биотехнических работ, необходимостью найма охотоведов и егерей, то есть существенными расходами на сохранение охотничьих ресурсов и животного мира. При обсуждении эта инициатива была признана несоответствующей как фактически сложившимся, так и законодательно установленным принципам долгосрочного охотпользования;

– предлагалось исключить из концепции положение о необходимости увеличения бюджетных доходов от деятельности в сфере охоты и охотничьего хозяйства. Вместо этого предлагалось считать одной из задач концепции инициирование и продвижение региональными государственными органами на федеральном уровне вопроса об отмене предусмотренного Налоговым кодексом Российской Федерации сбора за пользование объектами животного мира. Эта инициатива была также отклонена, как противоречащая законодательству о животном мире;

– ставился вопрос об отражении в концепции необходимости установления максимально возможных сроков охоты на лося.

Целесообразность установления сроков охоты, максимально предусмотренной правилами охоты продолжительности, непосредственно вытекает из социально-ориентированных принципов концепции, является оправданной для большинства видов охотничьих ресурсов. Однако в отношении лося, с учётом негативного опыта использования его популяции в 1990-х гг. 20-го в., областным межве-

домственным советом по организации ведения охотничьего хозяйства и охотхозяйственной деятельности природоохранной составляющей использования был отдан приоритет и рекомендовано осуществлять регулирование использования вида таким образом, чтобы охота на лося осуществлялась в максимально сжатые сроки. В связи с этим, сроки охоты на лося были ограничены в закреплённых охотничьих угодьях 101 днём, а в общедоступных охотничьих угодьях 91 днём, против 137 дней, допускаемых действующими правилами охоты;

– с целью повышения уровня добычи специалистами в области охоты и охотничьего хозяйства предлагалось доработать концепцию, включив в неё положения о стимулировании охоты административными методами, однако механизмов, позволяющих реализовать эту идею на практике, предложено не было.

Таким образом, с момента принятия и до настоящего времени содержание концепции остаётся неизменным и его корректировка не планируется.

Реализацию концепции планировалось осуществить в три этапа: первый – 2009-2011 гг., второй – 2012-2015 гг. и третий – 2015-2020 гг. Продолжительность этапов и общие сроки выполнения концепции были увязаны с этапами и продолжительностью осуществления Стратегии социально-экономического развития Кировской области на период до 2020 года.

К 2018 г. завершены первый и второй этапы реализации концепции. Оценивая итоги их выполнения, можно констатировать, что из 13 основных ожидаемых результатов концепции существенный прогресс достигнут по 8 направлениям.

1. В рамках предусмотренного концепцией совершенствования правовых условий устойчивого использования охотничьих ресурсов на первых двух этапах её исполнения обеспечена подготовка и принятие наиболее важных нормативных правовых актов регионального уровня. В их числе: Закон Кировской области от 28.12.2010 № 604-ЗО «Об отнесении к охотничьим ресурсам объектов животного мира, обитающих на территории Кировской области»; Закон Кировской области от 28.12.2010 № 605-ЗО «О перечне охотничьих ресурсов, в отношении которых допускается осуществление промысловой охоты на территории Кировской области», Закон Кировской области от 16.03.2012 № 124-ЗО «О порядке распределения разрешений на добычу

охотничьих ресурсов между физическими лицами, осуществляющими охоту в общедоступных охотничьих угодьях Кировской области», Закон Кировской области от 17.02.2017 № 47-ЗО «О порядке распределения разрешений на добычу охотничьих ресурсов между физическими лицами, осуществляющими охоту в общедоступных охотничьих угодьях Кировской области», Указ Губернатора Кировской области от 14.12.2012 № 160 «Об определении видов разрешенной охоты и параметров осуществления охоты в охотничьих угодьях на территории Кировской области» и др. Подготовлены и утверждены научно обоснованные нормы допустимой добычи охотничьих ресурсов, в отношении которых не устанавливается лимит добычи, и нормы пропускной способности охотничьих угодий в Кировской области.

Разработка и утверждение этих документов обеспечили минимально необходимые организационно-правовые условия для развития деятельности по охране и использованию охотничьих ресурсов на территории области.

2. Выполнен и продолжает реализовываться значительный объём мероприятий, направленных на предусмотренное концепцией повышение качества и доступности государственных услуг в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов. Основным результатом был достигнут в первой половине 2015 г., когда жители получили возможность обращаться за получением соответствующих услуг через многофункциональные центры и Интернет-портал госуслуг. К настоящему времени предусмотренный по данному направлению результат концепции достигнут на минимально необходимом уровне. Текущей задачей является увеличение объёма услуг, оказываемых удаленными способами, обеспечение разработки и внедрения соответствующей региональной автоматизированной информационной системы.

3. Меры для достижения ещё одного из результатов концепции - повышения устойчивости охотпользования стали предприниматься на втором этапе её реализации после кадровых корректировок государственного управления охотой и сохранением охотничьих ресурсов.

В 2014-2015 гг. областными государственными органами во взаимодействии с охотпользователями была проведена многомесячная судебная и административная работа по приведению сроков действия договоров на предоставление территорий и акваторий, необходимых для пользования объектами животного мира, отнесенными к объектам охоты,

срокам действия долгосрочных лицензий на пользование объектами животного мира, отнесенными к объектам охоты. Это позволило стабилизировать работу более чем 40% долгосрочных охотпользователей области, которые в иных условиях могли лишиться права пользования охотничьими угодьями.

Существенный вклад внесён государственными органами исполнительной власти Кировской области в решение проблемы аренды лесных участков для ведения охотничьего хозяйства. Данный вопрос в течение нескольких лет решался в тесном взаимодействии с Минприроды России и вплоть до внесения изменений в Лесной кодекс РФ находился в поле зрения руководства области. К примеру, пути его решения обсуждались губернатором Кировской области Н.Ю. Белых и заместителем Министра природных ресурсов и экологии РФ, руководителем Федерального агентства лесного хозяйства В.А. Лебедевым с работниками областных органов государственной власти, охотпользователями, представителями отраслевой науки и образования на совещании, проходившем в г. Кирове 21.05.2014. Среди прочего, на совещании были отмечены позитивные сдвиги и укрепление государственного управления охотой и охотничьим хозяйством Кировской области.

Как это и предполагалось концепцией, значительной проблемой для устойчивого ведения охотничьего хозяйства области стала угроза возникновения африканской чумы свиней (АЧС). В рассматриваемый период риски возникновения данного заболевания на территории области увеличивались. К 2016 г. Кировская область оказалась в окружении регионов, в которых выявлялась АЧС: Нижегородская область, Вологодская область, Архангельская область, Республика Татарстан.

В связи с этим актуальной задачей на современном этапе реализации концепции является совместная работа государственных органов и охотничьих хозяйств по предупреждению проникновения возбудителя АЧС в популяцию диких кабанов или, учитывая негативно развивающуюся в ПФО и стране эпизоотическую ситуацию по этому заболеванию, максимально возможная отсрочка его заноса на территорию области.

Следует понимать, что в случае возникновения на территории области очагов АЧС среди диких кабанов виновными лицами охотничьему хозяйству области будет нанесён не имеющий прецедентов по своим эколого-

экономическим последствиям урон, который отрицательно скажется на состоянии охотничьего хозяйства и поставит под сомнение возможность достижения ряда ожидаемых результатов концепции.

4. Анализ исполнения концепции показывает, что до 2017 г. прослеживалась позитивная тенденция и в решении задачи по увеличению объемов производства промысловой продукции, развитию охотничьего предпринимательства и смежных с охотой направлений деятельности. Так, в период реализации концепции, несмотря на непредвиденное усложнение экономической ситуации, объем производства промысловой продукции на территории области, по нашим оценкам, не только не сократился, но и несколько вырос – на 3-4% в 2015 г. по сравнению с 2009 г. Это обстоятельство позволяет позитивно оценивать существование и развитие промыслового направления охотничьего хозяйства области и подтверждает правильность принятых концепцией решений.

5. С развитием охотничьего предпринимательства и смежных с охотничьим хозяйством направлений деятельности тесно связан ожидаемый результат концепции, заключающийся в апробировании и внедрении инновационных проектов в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов, разработке научно обоснованной системы мероприятий, направленной на его рациональное ведение, обеспечение охраны и воспроизводства охотничьих ресурсов. В рамках данной темы можно выделить два направления, которым, начиная со второго этапа реализации концепции, уделяется существенное внимание: 1) любительская и спортивная охота, охотничий туризм; 2) дичеразведение.

В 2010-2018 гг. для поддержки любительской и спортивной охоты, охотничьего туризма областные государственные органы обеспечивали продвижение продуктов охотничьего туризма Кировской области на российских ярмарках, в том числе на ВДНХ. Также был решен вопрос о продвижении региональных туристско-охотничьих продуктов за рубежом. В частности, охотничьим туроператорам Кировской области за счёт средств бюджета Кировской области оплачивалась аренда выставочного стенда на известной немецкой охотничьей ярмарке в городе Дортмунде (Jagd & Hund).

Вместе с тем, после введения Евросоюзом экономических санкций возникли значительные сложности в развитии въездного (иностранного) охотничьего туризма, одним из проявлений которых стало усложнение проце-

дур ввоза в нашу страну охотничьего оружия и патронов к нему. От того, насколько в правовом и организационном поле удастся решить возникшие в данной отрасли проблемы, будет зависеть состояние въездного охотничьего туризма в перспективе.

В отношении развития дичеразведения можно указать, что это хорошо известное в советский период направление деятельности охотничьих хозяйств в связи с реализацией концепции вновь стало актуальным для Кировской области. В 2013-2015 гг. инициатива по дичеразведению рассматривалась руководством области как пилотный проект и поддерживалась Минприроды России. В рамках этого проекта в Кировской области проводится работа по разработке технологии разведения сибирской косули. С этой целью в 2013 г. в Пижанском районе области организован филиал Ростовского государственного опытного охотничьего хозяйства, построен сетчатый вольер, численность косуль в котором к 2016 г. доведена до 44 особей. Также небольшое поголовье сибирской косули стало содержаться в одном из охотничьих хозяйств Советского района Кировской области. Несколько охотпользователям выданы разрешения на содержание в полувольных условиях и искусственно созданной среде обитания пятнистых оленей и кабана. К сожалению, к 2018 г. опыты по содержанию косуль в Пижанском районе области были свернуты.

В настоящее время заинтересованность в разведении охотничьих ресурсов проявляют сельскохозяйственные предприятия. В 2014 г. по инициативе руководства Кировской области регион посетил посол Словении в России и представители бизнеса этой страны. На круглом столе, посвящённом региональному и муниципальному развитию, состоявшемуся в г. Белая Холуница, один из них – Игор Ледски – владелец большой дичефермы сделал ряд деловых предложений по разведению оленей в сельскохозяйственных целях. В ноябре 2014 г. кировское сельхозпредприятие – ЗАО Агрофирма «Дороничи» завезло из Словении 9 ланей, 9 муфлонов и 9 пятнистых оленей, которых стали содержать в неволе на территории СПК «Красное знамя» Куменского района области.

Оценивая перспективы дичеразведения, можно отметить, что интерес к этой деятельности в регионе сохраняется, но пока является неустойчивым. Продолжит ли развиваться данное направление, удастся ли сохранить положительный импульс дичеразведения – вопрос, на который нет однозначного ответа.

С точки зрения авторов, развитие диче-разведения в рассматриваемый период происходило скорее вопреки, чем благодаря сложившейся в области экономической конъюнктуры. Поэтому возможным сценарием на среднесрочную перспективу является осуществление разведения дичи в вольерах без значимого прогресса в нескольких охотничьих хозяйствах и его ограниченное развитие крупными сельскохозяйственными предприятиями, руководители которых проявляют интерес к охоте и охотхозяйственной деятельности и рассматривают различные варианты диверсификации производства, развития социальной и туристской инфраструктуры на селе.

6. За время, прошедшее с начала реализации концепции, в Кировской области удалось сформировать достаточно эффективную систему регулирования численности объектов животного мира, обеспечивающую охрану здоровья населения, устранение угрозы для жизни человека, предохранение от заболеваний сельскохозяйственных и других домашних животных, предотвращение нанесения ущерба народному хозяйству, животному миру и среде его обитания. В её основу были положены как административно-правовые механизмы принуждения, так и достаточно эффективное взаимодействие с охотпользователями, проводящими регуляционные мероприятия. Важно отметить, что при осуществлении регулирования численности популяций диких животных их охрана и сохранение биоразнообразия также должны быть в центре внимания.

Следовательно, когда возможны альтернативные регулированию численности диких животных подходы, они должны использоваться в первую очередь. Так, в отношении предупреждения заболевания бешенством плотоядных животных, основной упор необходимо делать на вакцинацию лисиц – основных переносчиков бешенства, и других восприимчивых к нему диких животных специальными разработанными ветеринарными препаратами, а не на депопуляцию, призывы к которой всё чаще приходится слышать из различных источников.

Аналогичным образом при решении актуальной в последние годы проблемы захода волков в поселения регулирование его численности не должно рассматриваться в качестве единственной меры. Как показывает практика, в числе основных причин этого явления – уменьшение фактора беспокойства, вследствие снижения численности жителей и хозяйствен-

ной деятельности в населенных пунктах, отсутствие уличного освещения, нарушение правил содержания домашних собак, наличие мест концентрации отходов производства и потребления, создающих благоприятную кормовую базу и привлекающих диких животных. Соответственно, решение данного вопроса должно осуществляться комплексно и, прежде всего, путем устранения проблем благоустройства населенных пунктов.

7. К окончанию второго этапа определённый прогресс достигнут и в отношении ожидаемых результатов концепции, в части повышения объемов, качества и эффективности природоохранных, биотехнических и воспроизводственных мероприятий, совершенствования системы охраны и воспроизводства охотничьих ресурсов, роста природоохранного значения охоты и охотничьего хозяйства, а также обеспечения пользования животным миром с применением орудий и способов, отвечающих международным стандартам на гуманный отлов диких животных.

Как показала практика, достижение этих результатов предполагает взаимодействие с отраслевыми хозяйствующими субъектами, проведение разъяснительной и консультационной работы, а в случаях, когда она неэффективна, государственно-волевого административного воздействия.

8. В период реализации концепции удалось обеспечить увеличение налоговых и неналоговых доходов бюджетов всех уровней бюджетной системы Российской Федерации от деятельности в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов. Решение этой задачи также является одним из ожидаемых результатов концепции. Так, в 2017 г. сбор за пользование объектами животного мира составил 6,2 млн руб. против 4,4 млн руб. в 2011 г. Госпошлина за выдачу разрешений в 2017 г. достигла 2,7 млн руб. против 1,3 млн руб. в 2011 г. В период с 2011 по 2017 гг. в бюджет поступило 50,6 млн руб. платы за право заключения охотхозяйственных соглашений.

Анализируя динамику бюджетных поступлений, следует понимать, что роль специально уполномоченных в области охраны и использования животного мира государственных органов Кировской области в их увеличении была косвенной и заключалась в реализации на практике федеральной налоговой политики и администрировании соответствующих платежей. Тем не менее, и здесь возникли сложности, при разрешении которых были

приняты значимые судебные решения, например, о недопустимости внесения платы за право заключения охотхозяйственных соглашений в рассрочку.

Несмотря на определённые достижения в развитии охоты и охотничьего хозяйства, связанные с реализацией концепции, часть её положений пока не получила соответствующего разрешения. В числе нереализованных важнейший вопрос – совершенствование системы охраны и воспроизводства охотничьих ресурсов. Необходимыми стартовыми условиями для достижения данного результата концепции является скорейшая разработка основного документа планирования деятельности в области охоты и сохранения охотничьих ресурсов – территориального охотустройства, разработка и реализация программных мероприятий, финансируемых из областного бюджета. В течение 2010-2018 гг. их подготовка сдерживалась отсутствием денежных средств на эти цели. Указанное обстоятельство оказывало негативное влияние на эффективность государственного управления и состояние отрасли в целом.

Следует отметить, что в период реализации концепции численность государственных охотничьих инспекторов на местах остается существенно ниже установленной пунктом 2 перечня поручений президента Российской Федерации по вопросам охраны, воспроизводства и использования животного мира и охотничьих ресурсов от 08.12.2016 № Пр-2374³ – не менее 3-х человек на муниципальный район.

Значимым фактором сохранения охотничьих ресурсов является обеспечение эффективного производственного охотничьего контроля в закрепленных охотничьих угодьях, а также возрождение общественного охотничьего контроля. Несмотря на рост числа производственных охотничьих инспекторов, численность которых к началу 2018 г. составила 154 чел. и продолжает увеличиваться, результаты их деятельности незначительны. Так, в 2017 г. составлено 19 актов производственного охотничьего контроля, а в 2018 г. – 23 акта. Что касается общественного контроля, то в силу отсутствия у общественных инспекторов собственных значимых полномочий, этот институт в деле сохранения охотничьих ресурсов самостоятельного значения пока не имеет.

Кроме этого, проблемой является организация работы по охране, воспроизводству и

регулированию использования объектов животного мира в лесах зелёных зон [6].

В целом можно констатировать, что обоснованность определенных концепцией проблем охотничьего хозяйства и путей их решения подтверждается не только предшествующими, но и теоретическими и прикладными исследованиями различных авторов, проведенными после её принятия [7, 8, 9, 10, 11, 12].

С точки зрения авторов, условием оптимального государственного управления отраслью как на федеральном, так и региональном уровнях является институциональная самостоятельность специально уполномоченных государственных органов. Именно она в наилучшей степени обеспечивает оперативность регионального государственного управления охотой и сохранением охотничьих ресурсов, повышение ее открытости и качества взаимодействия с общественными объединениями и гражданами. В этом контексте следует обратить внимание на проведенные в период реализации концепции мероприятия по изменению структуры государственного управления рассматриваемой сферой деятельности.

Так, в 2015 г. в рамках административной реформы государственных органов исполнительной власти Кировской области, специально уполномоченный в области охраны и использования животного мира областной государственный орган исполнительной власти – Управление охраны и использования животного мира Кировской области – в соответствии с Указом губернатора Кировской области от 10.03.2015 № 44 «О структуре органов исполнительной власти Кировской области» и постановлением Правительства Кировской области от 17.03.2015 № 29/150 «О мерах по реализации Указа Губернатора Кировской области от 10.03.2015 № 44» был объединён с Областным департаментом экологии и природопользования в Министерство охраны окружающей среды Кировской области и с 11.09.2015 перестал существовать как самостоятельное юридическое лицо.

В 2018 г. совмещение деятельности по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира, отнесенных и не отнесенных к объектам охоты, с регулированием отношений в области недропользования, управлением в области использования и охраны водных объектов, охраны атмосферного воздуха,

³Перечень поручений Президента Российской Федерации по вопросам охраны, воспроизводства и использования животного мира и охотничьих ресурсов от 08.12.2016 № Пр-2374. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/53454>

обращения с отходами производства и потребления, другими направлениями экологической деятельности высшим органом исполнительной власти Кировской области признано нецелесообразным и в соответствии с постановлением Правительства области от 30.10.2018 № 509-П «О передаче полномочий» функции по проведению государственной политики и осуществлению управления в сфере охраны, воспроизводства и рационального использования объектов животного мира и среды их обитания, охоты и сохранения охотничьих ресурсов, а также по осуществлению федерального государственного надзора в указанных сферах деятельности переданы Министерству лесного хозяйства Кировской области.

После 2020 г., когда срок действия концепции закончится, целесообразно подвести итоги её выполнения, в том числе оценить эффективность указанных административных решений и характер их воздействия на охрану, воспроизводство и устойчивое использование объектов животного мира, отнесенных и не отнесенных к объектам охоты, сохранение биологического разнообразия в Кировской области.

Выводы. Утверждение и реализация Концепции развития охотничьего хозяйства Кировской области до 2020 года стало важным этапом экологически обоснованного социально-экономического развития охоты и охотничьего хозяйства Кировской области.

Особенностью концепции является то, что наряду с природоохранным и экономическим содержанием она имеет социально-ориентированный характер и относится к числу документов стратегического отраслевого развития, в которых социально-культурное значение охоты, право граждан на её осуществление, а также защита охотпользования от чрезмерного государственного вмешательства рассматриваются в качестве руководящих общественных идей.

Значительная часть положений концепции предполагает их непосредственное использование в практической деятельности и не требует разработки специальных документов, необходимых для реализации соответствующ-

щих мероприятий. В условиях существенного дефицита регионального бюджета, отсутствия возможности финансирования государственными программами Кировской области даже мероприятий, прямо предусмотренных законодательством об охоте, механизм «прямого действия», при условии оптимальной организации деятельности региональных органов государственной власти, в том числе кадровой, обеспечивает работоспособность концепции и возможность достижения многих из предусмотренных в ней результатов.

Как отмечалось ранее, концепция создавалась с учетом имеющихся наработок. При её разработке использовались документы стратегического развития отрасли, науки, использовались материалы научных исследований. В связи с этим рассматриваемая концепция в значительной степени представляет результат внедрения в практику достижений охотоведческой науки.

В свою очередь, Концепция развития охотничьего хозяйства Кировской области оказала влияние на содержание принятых позже документов стратегического отраслевого развития ряда российских регионов. В частности, прослеживается её влияние на структуру и содержание принятых позднее: Концепции развития охотничьего хозяйства Мурманской области на период до 2025 года⁴ и Концепции развития охотничьего хозяйства Республики Башкортостан на период до 2030 года⁵.

Таким образом, в ряде государственных органов субъектов Российской Федерации постепенно формируется единое понимание роли и значения охотничьего природопользования, отраслевых проблем и путей их решения, основных направлений долговременной региональной государственной политики в сфере охоты и охотничьего хозяйства.

Нельзя не отметить, что инициированная российскими научными учреждениями и специалистами государственных органов субъектов Российской Федерации разработка документов долговременного отраслевого развития не осталась незамеченной на федеральном уровне.

⁴Концепции развития охотничьего хозяйства Мурманской области на период до 2025 года, утвержденная Постановлением Правительства Мурманской области от 28.12.2012 № 685-ПП. Режим доступа: <http://www.regionz.ru/index.php?ds=1979432>.

⁵Концепция развития охотничьего хозяйства Республики Башкортостан на период до 2030 года, утвержденная Постановлением Правительства Республики Башкортостан от 28.05.2013 № 214. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/463504000>.

Именно с этим связывается деятельность Минприроды России по устранению отставания и заполнению возникшего в федеральной государственной политике пробела путём подготовки и утверждения в 2014 г. Стратегии развития охотничьего хозяйства Российской Федерации до 2030 года⁶, ряд положений которой созвучен с идеями указанных выше концепций.

Подводя итоги, можно резюмировать, что опыт Кировской области и других регионов России позволяет рекомендовать разработку долгосрочных документов отраслевого

стратегического развития, на основе методических подходов и принципов, с учетом проблем и путей их решений, сформулированных в рассмотренных выше региональных концепциях. Их наличие и успешное исполнение является важным условием обеспечения устойчивого охотпользования и одним критериев эффективности государственного управления в сфере охоты и сохранения охотничьих ресурсов в субъектах Российской Федерации. Актуальным также является межрегиональное взаимодействие при подготовке и реализации указанных документов.

Список литературы

1. Дёжкин В.В., Сафонов В.Г. Охотничье хозяйство России и экологическая парадигма // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2009. № 3 (105). С. 26-29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17923550>.
2. Сафонов В.Г. Эколого-экономические аспекты устойчивого использования охотничьих ресурсов в России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2009. № 6 (108). С. 46-51. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17923494>.
3. Андреев М.Н. Проблемы охотничьего хозяйства Евро-Северо-Востока России и пути их решения // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2010. № 3. С. 74-78. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15133878>.
4. Черкаев А.В., Сафонов В.Г., Андреев М.Н., Граков Н.Н., Домский И.А., Краев Н.В., Матвейчук С.П., Машкин В.И., Миньков С.И. Концепция развития и научного обеспечения охотничьего хозяйства России // Труды ВНИИОЗ. №1 (51). 2000. Охотоведение, экономика, организация, право. Киров: ВНИИОЗ, РАСХН, 2000. С. 7-16.
5. Матвейчук С.П., Андреев М.Н., Егошина Т.Л. Проект Концепции развития охотничьего хозяйства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: материалы к обсуждению. Управление по использованию рыбных и охотничьих ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, Ханты-Мансийск, Киров, ВНИИОЗ, 2006. 46 с.
6. Гребнев И.А. Охотничье-рекреационные ресурсы зеленых зон городов // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2009. № 1. С. 55-59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17930494>.
7. Сафонов В.Г. Экомодернизация и перспективы охотничьего хозяйства России // Экология. 2013. № 5. С. 368. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19569324>.
8. Сафонов В.Г. К истории формирования научного подхода в организации рационального использования охотничьих животных // Вестник охотоведения. 2015. Т. 12. № 1. С. 66-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25013263>.
9. Данилкин А.А. Оптимальная численность и нормирование добычи диких копытных в охотничьем хозяйстве: теория и практика // Вестник охотоведения. 2014. Т. 11. № 1. С. 63-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21720632>.
10. Данилкин А.А. Государственная политика и управление в сфере охоты: тот ли выбран курс? // Вестник охотоведения. 2015. Т. 12. № 1. С. 104-117. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25013270>.
11. Винобер А.В. Охотничье хозяйство: будет ли эпоха возрождения? // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2016. № 1. С. 5-16. Режим доступа: http://www.biosphere-sib.ru/scientific-practical-journals/Гуманитарные%20аспекты%20охоты_1_2016.pdf.
12. Сухомиров Г.И. О проблемах охотничьего хозяйства России // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы VI Междунар. научн.-практ. конф. и Первого межрегионального симпозиума работников охотничьего хозяйства России «Современные проблемы охотоведения». Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2017. С. 153-159.

Поступила: 15.01.2019

Принята к публикации: 05.02.2019

Сведения об авторах:

Андреев Михаил Николаевич, кандидат с.-х. наук, заместитель начальника управления охраны и использования животного мира Министерства лесного хозяйства Кировской области, ул. Пятницкая, д.32, г. Киров, Российская Федерация, 610020, e-mail: wildlife_ru@mail.ru,

Гребнев Иван Анатольевич, кандидат биол. наук, доцент кафедры охотоведения и биологии диких животных ФГБОУ ВО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия", Октябрьский просп., 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, e-mail: info@vgsha.info, доцент кафедры трудового и социального права ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, Председатель Правления АНО «Институт природоресурсного и экологического права», ул. Широнинцев, д. 11. г. Киров, Российская Федерация, 610042, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8028-0713>, e-mail: ivan_grebnev_84@mail.ru

⁶Стратегия развития охотничьего хозяйства Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 03.07.2014 № 1216-р. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/docu-ment/420205912>.

References

1. Dezhkin V.V., Safonov V.G. *Okhotnich'e khozyaystvo Rossii i ekologicheskaya paradigmy*. [Hunting industry of Russia and ecological paradigm]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*. 2009. no. 3(105). pp. 26-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17923550>.
2. Safonov V.G. *Ekologo-ekonomicheskie aspekty ustoychivogo ispol'zovaniya okhotnich'ikh resursov v Rossii*. [Ecological and economic aspects of sustainable use of hunting resources in Russia]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*. 2009. no. 6(108). pp. 46-51. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17923494>.
3. Andreev M.N. *Problemy okhotnich'ego khozyaystva Evro-Severo-Vostoka Rossii i puti ikh resheniya*. [Problems of hunting industry of Euro-North-East of Russia and ways of their solution]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2010. no. 3. pp. 74-78. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15133878>.
4. Cherekaev A.V., Safonov V.G., Andreev M.N., Grakov N.N., Domskiy I.A., Kraev N.V., Matveychuk S.P., Mashkin V.I., Min'kov S.I. *Kontseptsiya razvitiya i nauchnogo obespecheniya okhotnich'ego khozyaystva Rossii*. [The concept of development and scientific support of hunting industry of Russia]. *Trudy VNIIOZ*. №1 (51). *Okhotovedenie, ekonomika, organizatsiya, pravo*. 2000. pp. 7-16. (In Russ.).
5. Matveychuk S.P., Andreev M.N., Egoshina T.L. *Proekt Kontseptsii razvitiya okhotnich'ego khozyaystva Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry: materialy k obsuzhdeniyu*. [The concept of development of game reserve of the Khanty-Mansi Autonomous district – Yugra: materials for the discussion]. *Upravlenie po ispol'zovaniyu rybnykh i okhotnich'ikh resursov Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry, Khanty-Mansiysk, Kirov, VNIIOZ*, 2006. 46 p. (In Russ.).
6. Grebnev I.A. *Okhotnich'e-rekreatsionnye resursy zelenykh zon gorodov*. [Hunting and recreational resources of green areas of cities]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*. 2009. no. 1. pp. 55-59. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17930494>.
7. Safonov V.G. *Ekomodernizatsiya i perspektivy okhotnich'ego khozyaystva Rossii*. [Ecological modernization and prospects of the hunting industry of Russia]. *Ekologiya*. 2013. no 5. pp. 368. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19569324>.
8. Safonov V.G. *K istorii formirovaniya nauchnogo podkhoda v organizatsii ratsional'nogo ispol'zovaniya okhotnich'ikh zhivotnykh*. [To the history of formation of scientific approach in the organization of rational use of game animals]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2015. Vol. 12. no. 1. pp. 66-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25013263>.
9. Danilkin A.A. *Optimal'naya chislennost' i normirovanie dobychi dikikh kopytnykh v okhotnich'em khozyaystve: teoriya i praktika*. [Optimal number and rationing of wild ungulates in the hunting sector: theory and practice]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2014. Vol. 11. no. 1. pp. 63-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21720632>.
10. Danilkin A.A. *Gosudarstvennaya politika i upravlenie v sfere okhoty: tot li vybran kurs?* [State policy and management in the field of hunting: is the right course chosen?]. *Vestnik okhotovedeniya*. 2015. Vol. 12. no. 1. pp. 104-117. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25013270>.
11. Vinober A.V. *Okhotnich'e khozyaystvo: budet li epokha vozrozhde-niya?* [Hunting: will there be a Renaissance?]. *Gumanitarnye aspekty okhoty i okhotnich'ego khozyaystva*. 2016. no. 1. pp. 5-16. (In Russ.). URL: http://www.biosphere-sib.ru/scientific-practical-journals/Gumanitarnye%20aspekty%20okhoty_1_2016.pdf.
12. Sukhomirov G.I. *O problemakh okhotnich'ego khozyaystva Rossii*. [On the problems of the hunting sector of Russia]. *Klimat, ekologiya, sel'skoe khozyaystvo Evrazii: materialy VI mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. i Pervogo mezhregional'nogo simpoziuma rabotnikov okhotnich'ego khozyaystva Rossii «Sovremennye problemy okhotovedeniya»*. [Climate, ecology, agriculture in Eurasia: Proceedings of the VI Intern. Scientific and practical Conference and the First Interregional Symposium of workers of hunting sector of Russia «Current problems of game management»]. Irkutsk: *Izd-vo Irkutskogo GAU*, 2017. pp. 153-159. (In Russ.).

Received: 15.01.2019

Accepted for publication: 05.02.2019

Information about the authors:

Mikhail N. Andreev, PhD in Agricultural Sciences, Deputy head of the Department of wildlife protection and use Ministry of forestry of the Kirov region, Pyatnitskaya Str., 32, Kirov, Russian Federation, 610020, e-mail: dlh@kirovnet.net, e-mail: wildlife_ru@mail.ru,

Ivan A. Grebnev, PhD in Biological Sciences, associate professor, the Chair of game management and biology of wild animals Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agricultural Academy», Oktyabrsky Avenue, 133, Kirov, Russian Federation, 610017, e-mail: info@vgsha.info, associate professor, the Chair of labor and social law Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Moskovskaya Str., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, Chairman of the Management Board Institute of natural resources and environmental law, Shironitsev Str., 11. Kirov, Russian Federation, 610042, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8028-0713>, e-mail: ivan_grebnev_84@mail.ru,

МЕХАНИЗАЦИЯ / MECHANIZATION

УДК 631.314:612

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56

Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы*

© 2019. Л.Ф. Бабицкий, И.В. Соболевский, В.А. Куклин

Академия биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация

*В системе мероприятий по предпосевной обработке почвы особое значение следует уделять выравниванию почвы, обеспечивающему повышение равномерности заделки семян по глубине, оказывающему существенное влияние на увеличение урожайности. Основным решением данной проблемы является совершенствование конструкции выравнивателей с использованием механико-бионического подхода для аналитического описания оптимальных форм и параметров их рабочих органов. Предлагается конструкция рабочего органа пружинного выравнивателя почвы, режущие кромки подрезающих крыльев которого имеют выступы и впадины по форме логарифмической кривой с положительной выпуклостью кривизны во внутрь впадин, разработанная по бионическому прототипу медведки (*Gryllotalpa*). С использованием методов земледельческой механики определены теоретические зависимости рациональной глубины хода рабочих органов и величины тягового сопротивления пружинного выравнивателя почвы от скорости движения, конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы, которые подтверждаются результатами экспериментальных исследований на черноземе южном карбонатном среднесуглинистом. Экспериментальный пружинный выравниватель почвы обеспечивал снижение тягового сопротивления на 7...8% (40...49 Н) и имел лучшую устойчивость хода по глубине в среднем в 1,5 раза ($\pm 0,5$ см) в сравнении с серийной моделью рабочих органов выравнивателя ВПН-5,6А.*

Ключевые слова: выравнивающие устройства, биологический прототип, гребни, впадины, мощность, тяговое сопротивление, рабочий орган

Для цитирования: Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В., Куклин В.А. Теоретические предпосылки к бионическому обоснованию параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):48-56. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.

Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters*

© 2019. L.F. Babitsky, I.V. Sobolevsky, V.A. Kuklin

Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation

*In the system of measures for pre-sowing tillage, special attention should be given to leveling the soil, ensuring an increase in the uniformity of seeding in depth, which has a significant impact on increasing yields. The main solution to this problem is to improve the design of aligners using a mechanical-bionic approach for the analytical description of the optimal forms and parameters of their working bodies. The design of the working body of the spring soil leveler is proposed, the cutting edges of the undercutting wings of which have ridges and hollows in the form of a logarithmic curve with a positive convexity of curvature inside the depressions, developed by the bionic prototype of the mole cricket (*Gryllotalpa*). Using the methods of agricultural mechanics, the theoretical dependence of the rational depth of the working bodies and the value of the tractive resistance of spring soil leveler on the travel speed, design parameters and physical-mechanical soil properties, which are proved by the results of experimental research on the south carbonated middle loamy black earth have been established. The experimental spring soil leveler provided the reduction of traction resistance by 7...8% (40...49 N) and had the best stability of motion in depth by an average of 1.5 times (± 0.5 cm) in comparison with the serial model of the working bodies of the leveler VPN-5.6 A.*

Key words: leveling devices, biological prototype, ridges, hollows, power, traction resistance, working body

For citation: Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A. Theoretical prerequisites for the bionic substantiation of spring soil leveler working bodies parameters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):48-56. (In Russ.). DOI :10.30766/2072-9081.2019.20.1.48-56.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта № 18-48-910001.

Введение. При эксплуатации существующих выравнивающих устройств почвообрабатывающих агрегатов была выявлена их громоздкость и повышенные энергозатраты [1]. Испытания почвообрабатывающего агрегата АКП-5 показали, что образуются борозды в стыках смежных проходов. Не обеспечивается достаточная выровненность поверхности по всей ширине захвата.

Также возникают технологические отказы на почвах с высокой влажностью более 20%. В связи с этим, особое внимание следует уделить процессу выравнивания почвы. Существующие конструкции серийных выравнивающих устройств почвообрабатывающих агрегатов не могут обеспечить требуемое качество выравнивания поверхности почвы, особенно в почвенно-климатических зонах с недостаточным количеством осадков. Основным решением данной проблемы является совершенствование выравнивателей с использованием методов земледельческой механики¹ и механико-бионического подхода для аналитического описания оптимальных форм и параметров их рабочих органов [2, 3, 4].

Обоснование типа рабочих органов и их параметров, позволяющих улучшить качество выравнивания микрорельефа, снизить энергозатраты, расширить диапазон почвенных условий для их безотказной работы является актуальной задачей [3, 5].

Изучением процесса выравнивания и обоснованием параметров выравнивающих устройств занимались М.М. Севернев, А.И. Анохин, О.М. Мацепуро, Ю.И. Кузнецов, П.Н. Бурченко, П.М. Василенко, А.Ф. Жук, В.П. Мармалюков, Н.В. Даценко, Н.Ю. Матяшин, А.В. Шубин [3], А.Н. Гудков² и ряд других исследователей [6, 7, 8].

Анализируя рабочие процессы используемых для выравнивания поверхности почвы сельскохозяйственных машин [9, 10], можно отметить, что, как указывал А.Н. Гудков, при механическом воздействии рабочих органов на почву в недостаточной степени учитываются свойства почвы, растений и характер их поведения как живой материи в сочетании с окружающей средой. Обоснование рациональных форм и параметров рабочих органов – выравнивателей почвы без учета всей специфики

агроценоза не позволяет использовать постулаты общей теории систем и основные положения бионики. В этой связи остается не решенным вопрос создания рабочих органов-выравнивателей по принципу биологических аналогов и придания им некоторых свойств и характеристик живых организмов.

Цель исследований – разработка теоретических предпосылок к бионическому обоснованию оптимальных параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы.

Материал и методы. При бионических исследованиях использовали методы теоретической механики, общей теории систем, механики сплошной среды.

Исследования проводили в научно-исследовательской лаборатории бионической агроинженерии кафедры механизации и технического сервиса в АПК на почвенном канале с тензостанцией ZETLAB ZET 017-T8, видео- и фотофиксацией в сентябре-октябре 2018 г.

Объектом теоретического исследования являлся технологический процесс взаимодействия рабочих органов пружинного выравнивателя с почвой.

Результаты и их обсуждение. Поисквые исследования существующих биологических прототипов животных землероев показали, что особое внимание заслуживает процесс ударного воздействия в сочетании с многоконттактными рабочими органами, который приводит к принципу многоконттактно-ударного действия на почву [11, 12, 13].

В соответствии со вторым постулатом общей теории систем об их организации, для периодического сжатия и скалывания блока почвы рабочий орган пружинного выравнивателя почвы обеспечивает реализацию основных реологических особенностей на основе реологической модели тела Шведова и выполняет вибрационно-импульсное перемещение по поверхности почвы, разрушая при этом почвенные агрегаты.

Особый интерес совершенства зубчатых роющих органов насекомых-землероев, адаптированных к вибрационно-импульсному перемещению по верхнему слою почвы, представляет медведка (*Gryllotalpa*) (рис. 1, а). Основные функции рыхления у медведки выполняют передние конечности.

¹Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3-х т. М.: Колос, 1965. Т.1. 720 с.; Т. 2. 459 с.

²Гудков А.Н. Теоретические основы построения рабочих процессов сельскохозяйственных машин с учетом характера живой материи растений, животных, почвы. Кн.: Земледельческая механика. М.: Машиностроение, 1966. Т. 9. С. 86-97.

У медведки сильно видоизменены передние конечности, которые хорошо приспособлены к копанию и передвижению в почвенном слое. Зубцы шириной $2a$ расположены на ноге с шагом S (рис. 1, в) [13]. Обитая в почве, медведка делает проходы глубиной до

одного метра. Как показывает анализ кинематики процесса рыхления почвы конечностью медведки, лапка за счет массивного бедра выполняет одновременно два вида движения: возвратно-поступательное и полукруговое (рис. 1, б) [13].

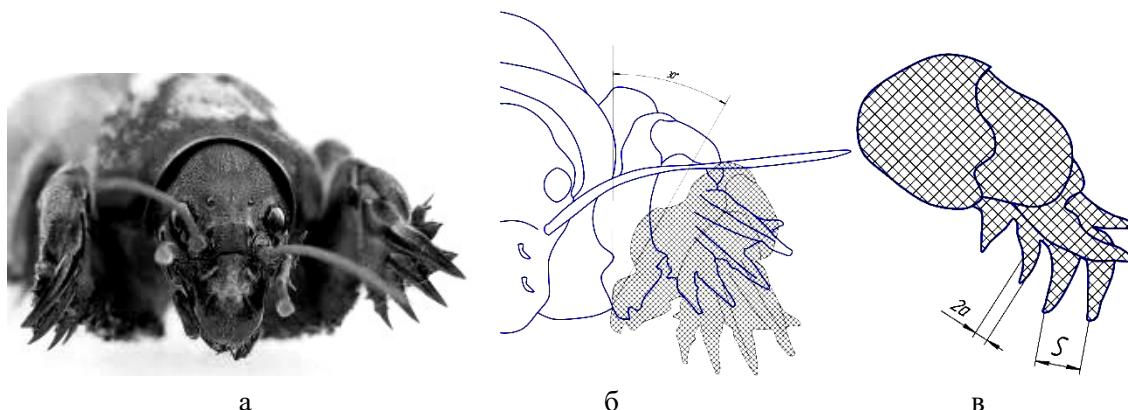


Рис. 1. Общий вид медведки (*Gryllotalpa*): а) фото медведки;

б) продольная проекция движения роющей конечности медведки; в) роющая конечность

Fig. 1. General view of the mole cricket (*Gryllotalpa*): а) photo of the mole cricket;

б) the longitudinal projection of the movement of the digging extremity of the mole cricket; в) digging limb

Такое физическое явление позволило адаптировать элементы строения роющих конечностей медведки с развитыми рыхлительными способностями в обосновании конструкции рабочего органа пружинного выравнивателя почвы для поверхностной обработки почвы.

Предлагаемая конструкция рабочего органа пружинного выравнивателя почвы, разработанная по бионическому прототипу медведки (*Gryllotalpa*), состоит из рамы 1 с рабочими органами 2 на С-образной пружинной стойке 3, жёстко соединённой с рамой [13]. С-образная пружинная стойка 3 в нижней части имеет два болтовых крепления 4 со швеллером 5, имеющим по два правых 6 и левых 7 болтовых соединений (рис. 2, а) со стойками 8 рабочих органов 2, выполненных в виде правосторонней 9 и левосторонней 10 плоскорежущих лап с продольными треугольными выступами 11 (рис. 2, б).

Режущие кромки 12 плоскорежущих лап 9 и 10 имеют выступы 13 и впадины 14 (рис. 3) по форме логарифмической кривой с положительной выпуклостью кривизны во внутрь впадин. Во внутренней полости швеллера 5 имеется ось 15 (рис. 3), на которой закреплены нижний ударник 16, регулируемый по длине рычага 17 (рис. 2, б) со стопорным болтом 18, и верхний ударник 19 (рис. 3) с рычагом 20 (рис. 2, б), расположенным на втулке 21 (рис. 2, в), имеющей паз 22 и стопорные болты 23, при этом верхний ударник 19 имеет

верхний боек 24, закреплённый на упругой стойке, а нижний ударник 16 имеет нижний боек 25, закреплённый в пазу 26 (рис. 2, а) швеллера 5 посредством болтового соединения 27.

Для теоретического обоснования основных параметров рабочего органа пружинного выравнивателя необходимо определить условия его работы [14, 15]. Качественному выравниванию почвы способствует анализ гребней и впадин образованных предыдущей почвообработкой. Ширину гребней определяли по формуле:

$$e_z = B''/B = \frac{2h_z}{tg\psi} = \frac{2k_{zp} \cdot H_z}{tg\psi}, \quad (1)$$

где B''/B – отрезок основания гребня; h_z – высота гребня; $tg\psi$ – угол внутреннего трения почвы; k_{zp} – коэффициент гребнистости, $k_{zp} = \frac{h_z}{H_z}$; H_z – гребнистость.

Ширина впадин определится по следующему выражению:

$$e_{en} = BC = L_z - e_z = L_z - \frac{2k_{zp} \cdot H_z}{tg\psi}, \quad (2)$$

где L_z – расстояние между вершинами гребней.

Для качественного выравнивания почвы должно соблюдаться равенство объёма срезаемых гребней V_{zp} к объёму заполняемых впадин V_{en} :

$$V_{zp} = V_{en}. \quad (3)$$

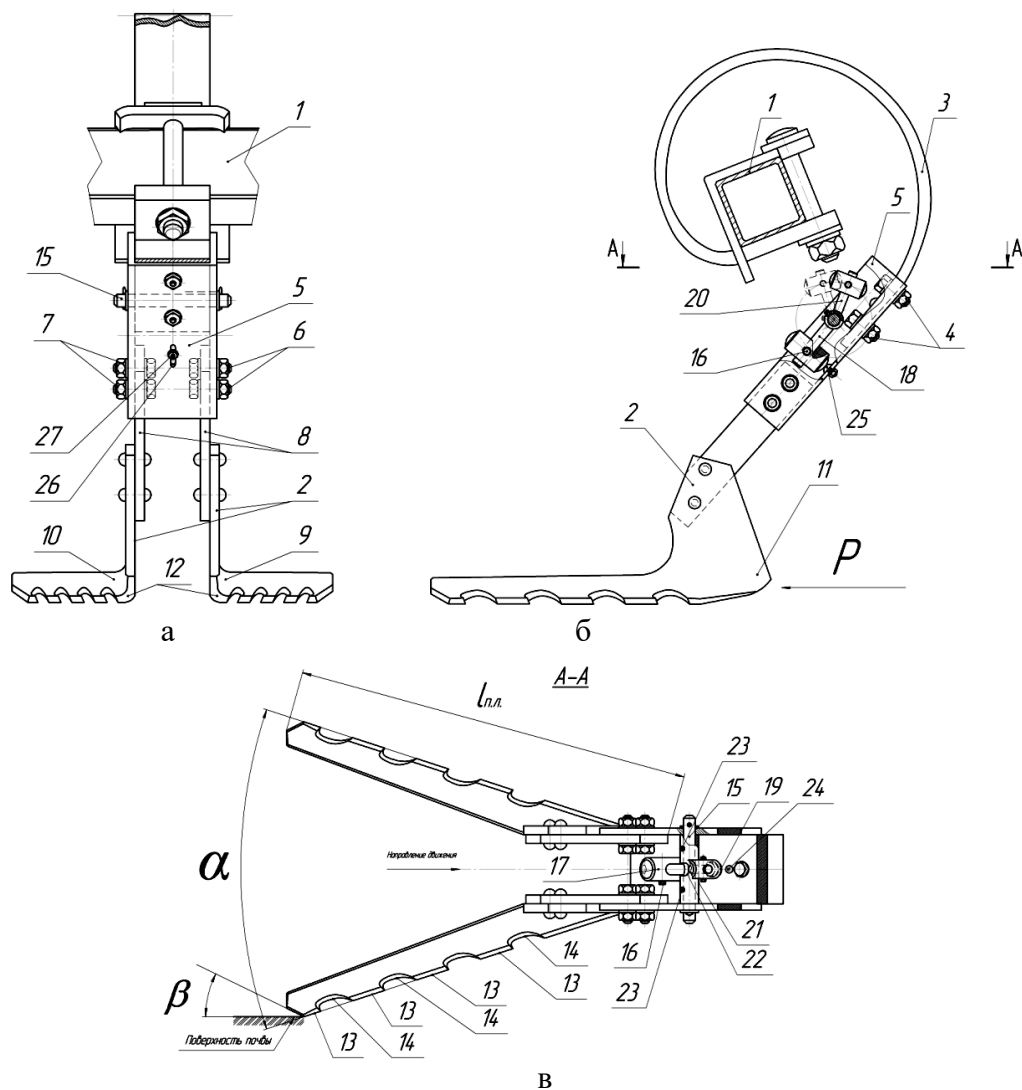


Рис. 2. Общий вид рабочего органа пружинного выравнивателя почвы:
а) вид спереди; б) вид сбоку; в) вид сверху

Fig. 2. General view of the working body of the spring soil leveler:
a) front view; b) side view; c) top view

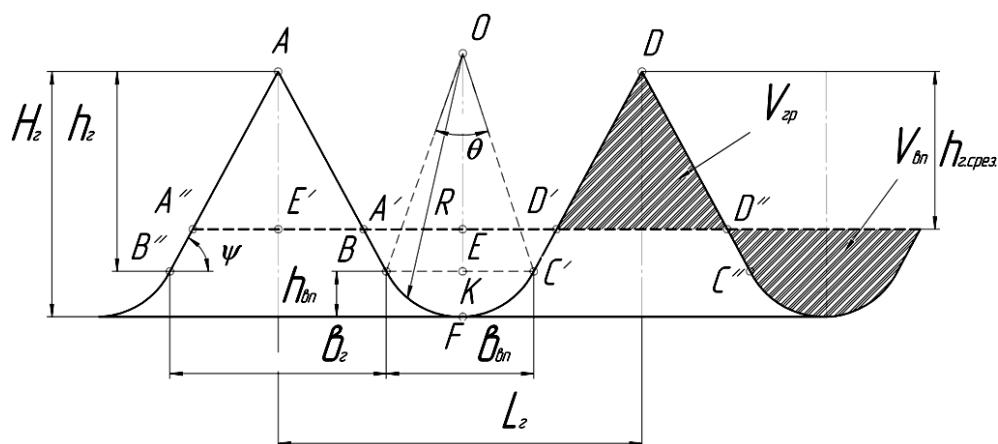


Рис. 3. Функциональная схема поперечного сечения гребней и впадин
поверхности обработанной почвы перед выравниванием

Fig. 3. Functional diagram of the cross section of the ridges and hollows
of the surface of the tilled soil before leveling

Это выражение эквивалентно равенству площадей сечений срезаемого выравнивателем гребня $S_{зр}$ и впадины $S_{вн}$. Рассмотрим вариант, когда гребень в сечении выполнен по форме равнобедренного треугольника $\Delta A''AA'$. Согласно рисунку 3, площадь $\Delta A''AA'$ равна:

$$S_{зр} = S_{\Delta A''AA'} = \frac{1}{2} \cdot A''A' \cdot AE', \quad (4)$$

где $A''A'$ – ширина основания срезаемого гребня $A''A' = \frac{2AE'}{\operatorname{tg}\psi}$.

В результате получим:

$$S_{зр} = \frac{(AE')^2}{\operatorname{tg}\psi} = \frac{h_{з.срез.}^2}{\operatorname{tg}\psi}, \quad (5)$$

где $h_{з.срез.}$ – высота срезаемого гребня.

Площадь впадин $S_{вн}$ определим по выражению:

$$\begin{aligned} S_{вн} &= S_{A'BCD'} + S_{BFC} = \\ &= \frac{1}{2} \left(\left(L_z - \frac{2h_{з.срез.}}{\operatorname{tg}\psi} \right) + \epsilon_{вн} \right) \cdot (h_z - h_{з.срез.}) + \\ &+ \frac{R^2}{2} \left[\arcsin \left(\frac{\epsilon_{вн}}{2R} \right) - \frac{\epsilon_{вн}}{2R} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Так как площади сечений срезаемого выравнивателем гребня $S_{зр}$ и впадины $S_{вн}$ равны, то выражение (6) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{h_{з.срез.}^2}{\operatorname{tg}\psi} &= \frac{1}{2} \left(\left(L_z - \frac{2h_{з.срез.}}{\operatorname{tg}\psi} \right) + \epsilon_{вн} \right) \cdot (h_z - h_{з.срез.}) + \\ &+ \frac{R^2}{2} \left[\arcsin \left(\frac{\epsilon_{вн}}{2R} \right) - \frac{\epsilon_{вн}}{2R} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Определим из выражения (7) высоту срезаемого пласта:

$$h_{з.срез.} = \frac{h_z(L_z + \epsilon_{вн}) + R^2 \left(\arcsin \left(\frac{\epsilon_{вн}}{2R} \right) - \frac{\epsilon_{вн}}{2R} \right)}{\frac{2h_z}{\operatorname{tg}\psi} + L_z + \epsilon_{вн}}. \quad (8)$$

В процессе разравнивания почвы выравнивателем при перемещении срезаемых гребней почвы во впадины совершается работа по преодолению сил трения почвы о почву $A_{мп}^{почва}$ и сил трения почвы о поверхность плоскорежущих лап выравнивателя $A_{мп}^{н.л.}$:

$$A_{перем.} = A_{мп}^{почва} + A_{мп}^{н.л.}. \quad (9)$$

Считая, что гребни на поверхности почвы с шагом L_z , принимаем среднюю величину перемещения разравниваемого массива почвы равной $L_z/2$, а работу трения $A_{мп}^{почва}$, равной:

$$A_{мп}^{почва} = f_{мп1} \cdot mg \cdot \frac{L_z}{2}, \quad (10)$$

где $f_{мп1}$ – коэффициент внутреннего трения почвы; m – масса перемещаемого массива почвы; g – ускорение свободного падения.

Учитывая, что среднее расстояние перемещения массива почвы по поверхности плоскорежущих лап выравнивателя равно половине их длины $\frac{l_{н.л.}}{2}$ (рис. 3), запишем:

$$A_{мп}^{н.л.} = f_{мп2} \cdot mg \cdot \cos \beta \cdot \frac{l_{н.л.}}{2}, \quad (11)$$

где $f_{мп2}$ – коэффициент трения почвы о поверхность плоскорежущих лап выравнивателя; β – угол наклона плоскорежущих лап к поверхности почвы.

Мощность на осуществление процесса выравнивания определится по выражению:

$$\begin{aligned} N_{выр.} &= \frac{A_{перем.}}{t} = \frac{\rho \cdot S \cdot V_{р.в.} \cdot g}{2t} \cdot \\ &\cdot (f_{мп1} \cdot L_z + f_{мп2} \cdot l_{н.л.} \cdot \cos \beta), \end{aligned} \quad (12)$$

где ρ – плотность взрыхленной почвы; S – площадь сечения срезаемых гребней; $V_{р.в.}$ – рабочая скорость выравнивателя.

Для полной характеристики энергоёмкости процесса выравнивания почвы необходимо определить тяговое сопротивление рабочих органов выравнивателя:

$$\begin{aligned} F_{тяг.} &= \frac{N_{выр.}}{V_{р.в.}} = \frac{\rho \cdot S \cdot g}{2} \cdot \\ &\cdot (f_{мп1} \cdot L_z + f_{мп2} \cdot l_{н.л.} \cdot \cos \beta), \end{aligned} \quad (13)$$

Так как площадь сечения S срезаемых гребней зависит от их количества n_{ep} по ширине захвата рабочего органа выравнивателя $B_{p.вр.}$, то она определится по выражению:

$$S = n_{ep} \cdot S_{ep}, \quad (14)$$

где S_{ep} – площадь сечения одного гребня.

При этом количество гребней n_{ep} определится:

$$n_{ep} = \frac{B_{p.вр.}}{L_z}. \quad (15)$$

В результате преобразования выражения (13) с учетом (14) и (15) получим:

$$F_{тяз.} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{B_{p.вр.}}{L_z} \cdot \frac{h_{з.срез.}^2}{\tan \psi} \cdot g \cdot (f_{мп1} \cdot L_z + f_{мп2} \cdot l_{н.л.} \cdot \cos \beta). \quad (16)$$

Как показал анализ выражения (16), тяговое сопротивление рабочих органов выравнивателя почвы будет возрастать пропорционально квадрату высоты срезаемых гребней.

Экспериментальная проверка энергетических показателей работы рабочих органов пружинного выравнивателя почвы шириной захвата 0,27 м (рис. 4) в сравнении с серийной моделью рабочих органов выравнивателя ВПН-5,6А, выполненная в условиях экспериментальной лаборатории кафедры «Механизация и технический сервис в АПК», подтвердила целесообразность их использования. Экспериментальный образец выравнивателя почвы шириной захвата 5,6 м содержит 45 рабочих органов при двухрядном их расположении.



Рис. 4. Лабораторные испытания рабочих органов пружинного выравнивателя почвы
Fig. 4. Laboratory tests of the working bodies of the spring soil leveler

На рисунке 5 показаны графические зависимости тягового сопротивления рабочего органа пружинного выравнивателя почвы от скорости движения в сравнении с серийной моделью. Тип выравниваемой почвы – чернозем южный карбонатный среднесуглинистый. При проведении исследований в почвенном канале влажность почвы варьировалась в пределах $W = 13...17\%$.

С увеличением скорости движения тяговое сопротивление сравниваемых выравнивателей почвы линейно возрастает при общем снижении сопротивления экспериментального выравнивателя почвы по сравнению с серийным в среднем на 7...8% (40...49 Н). Устойчивость хода по глубине предлагаемых рабочих органов в среднем в 1,5 раза ($\pm 0,5$ см) выше в сравнении с серийной моделью рабочих органов выравнивателя ВПН-5,6А.

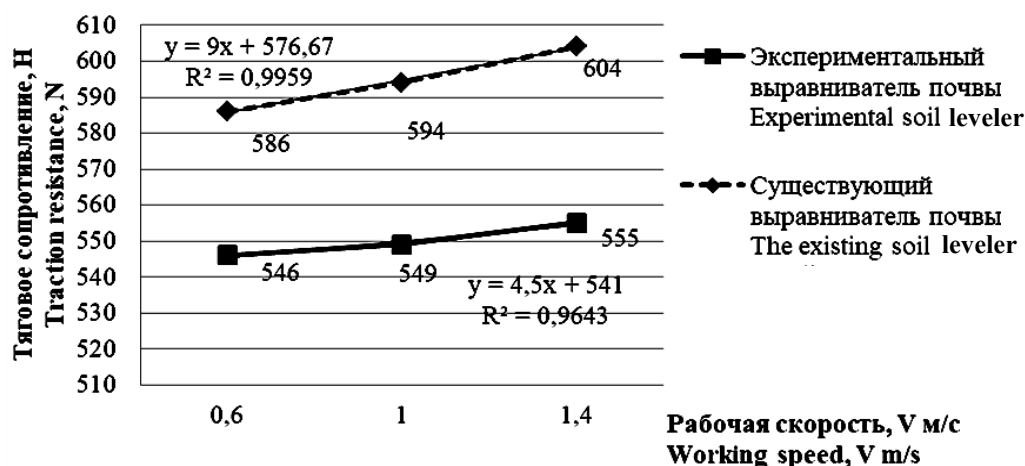


Рис. 5. Графическая зависимость тягового сопротивления пружинного выравнивателя почвы от скорости движения при высоте срезаемых гребней $h_{з.срез.} = 4$ см

Fig. 5. Graphic dependence of the traction resistance of the spring soil leveler on the speed of movement at the height of the ridges being cut off $h_{з.срез.} = 4$ cm

Выводы.

1. В соответствии с биосистемным подходом, а также на основании усовершенствованной в результате теоретических исследований функциональной схемы разработана новая конструкция пружинного выравнивателя почвы (заявка на изобретение РФ № 2016144117).

2. С учетом физико-механических свойств почвы и особенностей технологического процесса выравнивания почвы теоретически обоснована оптимальная высота срезания гребней.

3. Установлены теоретические зависимости тягового сопротивления пружинного выравнивателя почвы от скорости движения, которые подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

4. Экспериментальный пружинный выравниватель почвы обеспечивает снижение тягового сопротивления на 7...8% и имеет лучшую устойчивость хода по глубине в среднем в 1,5 раза.

Список литературы

1. Морозов П.В., Голубев В.В. Анализ конструкций выравнивателей // Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов: Сб. научн. тр. по материалам Междунар. научн.-практ. конф. 2018. С. 205-208. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35178732>.
2. Бабицкий Л.Ф., Москалевич В.Ю., Соболевский И.В., Ку克林 В.А. Обоснование комплекса бионически подобных малоэнергоёмких почвообрабатывающих рабочих органов // Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского: Материалы III научн.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых. Симферополь, 2017. С. 128-129. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32276620>.
3. Шубин А.В. Обоснование параметров V-образных выравнивателей комбинированных агрегатов // Труды ВИМ. Т. 134. Ч. II. М.: ВИМ, 2001. С. 47-57.
4. Абдрахманов Р.К., Булгариев Г.Г., Калимуллин М.Н., Хамитов Р.Р. Широкозахватный выравниватель поверхности почвы // Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков: Материалы научн.-практ. конф. Казань: Казанский ГАУ, 2016. С. 127-130. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32526544>.
5. Мансуров М.Т., Расулов А.Д. Теоретическое обоснование параметров выравнивателя-уплотнителя комбинированной машины по системе PUSH-PULL для предпосевной обработки почвы // Молодой ученый. 2016. № 8 (112). С. 256-258. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/112/>.
6. Рзалиев А.С., Грибановский А.П., Голобородько В.П., Бекмухаметов Ш.Б., Сопов Ю.В., Суюндуков А.А. Определение оптимальных типов и параметров рабочих органов рыхлителя-выравнивателя почвы РВП-4 // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 2. С. 43-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32703891>.
7. Никифоров М.В., Фирсов А.С., Андреев А.Н., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. Результаты полевого опыта выравнивателя почвы при возделывании льна-долгунца // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 3 (20). С. 91-96. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36308936>.
8. Никифоров М.В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры // Вестник НГИЭИ. 2018. № 12(91). С. 30-39. Режим доступа: <https://yadi.sk/i/oQFAgECg5-6tMQ>.
9. Казаков В.И., Казаков И.В. Аналитические исследования процесса выравнивания поверхности почвы в лесных питомниках // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-2 (7-2). С. 93-99. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21359355>.
10. Никифоров М.В., Морозов П.В., Голубев В.В. Влияние режимов работы выравнивателя на шероховатость почвенного профиля // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах: Материалы Междунар. научн.-практ. конф., приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ. Ставрополь: ООО «СЕКВОЙЯ», 2018. С. 355-358.
11. Берестов В.П. Повышение эффективности предпосевной обработки почвы // Вклад молодых ученых в аграрную науку: Материалы Междунар. научн.-практ. конф. Кинель: Самарская ГСХА, 2017. С. 190-193.
12. Jianqiao L., Yunpeng Y., Benard C., Xuejiao W., Zhaoliang W., Meng Z. «Bionic Design for Reducing Adhesive Resistance of the Ridger Inspired by a Boar's Head» Applied Bionics and Biomechanics. Vol. 2017. Article ID 8315972. 2017. 10 p. Режим доступа: <https://www.hindawi.com/journals/abb/2017/8315972/>.
13. Соболевский И.В., Мыськив И.И. Обоснование параметров рабочих органов пружинного выравнивателя почвы по бионическому подобию // Молодая наука: сборник научных трудов научно-практической конференции для студентов и молодых ученых. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016. С. 267-269.
14. Chirende B, Li J Q, Wen L G, Simalenga T E. Effects of bionic non-smooth surface on reducing soil resistance to disc ploughing. Sci China Tech Sci. 2010. 53: 2960-2965. DOI: 10.1007/s11431-010-4128-8.
15. Liu R., Yao J.H., Zhang Q.L., Collier R. Sliding wear and solid-particle erosion resistance of a novel high-tungsten Stellite alloy, Wear 322–323 (2015) 41-50.

Сведения об авторах:

Бабицкий Леонид Федорович, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой механизации и технического сервиса в АПК Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», п. Аграрное, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8540-7229>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru,

Соболевский Иван Витальевич, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры механизации и технического сервиса в АПК Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», п. Аграрное, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1338-9065>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru,

Куклин Владимир Алексеевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры механизации и технического сервиса в АПК Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», п. Аграрное, г. Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6692-9523>, e-mail: rectorat@abip.cfuv.ru.

References

1. Morozov P.V., Golubev V.V. *Analiz konstruktivnykh vyrovnyvateley*. [Analysis of the structures of levelers]. *Konkurentosposobnost' i innovatsionnaya aktivnost' APK regionov: Sb. nauchn. tr. po materialam Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Competitiveness and innovative activity of the agro-industrial complex of the regions: Collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference]. 2018. pp. 205-208. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35178732>.

2. Babitskiy L.F., Moskalevich V.Yu., Sobolevskiy I.V., Kuklin V.A. *Obosnovanie kompleksa bionicheskikh podobnykh maloenergoemkikh pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov*. [Substantiation of a set of bionically similar low-power soil-cultivating working bodies]. *Dni nauki KFU im. V.I. Vernadskogo: Materialy III nauchn.-prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, studentov i molodykh uchenykh*. [The Days of science of Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky: Proceedings of the III scientific and practical Conference of the teaching staff, postgraduates, students and young scientists]. Simferopol, 2017. pp. 128-129. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32276620>.

3. Shubin A.B. *Obosnovanie parametrov V-obraznykh vyrovnyvateley kombinirovannykh agregatov*. [Substantiation of the parameters of V-shaped combined units levelers]. *Trudy VIM*. Vol. 134. Part. II. Moscow: VIM, 2001. pp.47-57. (In Russ.).

4. Abdrakhmanov R.K., Bulgariev G.G., Kalimullin M.N., Khamitov R.R. *Shirokoyazhvatnyy vyrovnyvatel' poverkhnosti pochvy*. [Wide-span soil leveling device]. *Ustoychivoe razvitie sel'skogo khozyaystva v usloviyakh global'nykh riskov: Materialy nauchn.-prakt. konf.* [Sustainable development of agriculture in the context of global risks: Proceedings of the scientific and practical Conference]. Kazan': Kazanskiy GAU, 2016. pp. 127-130. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32526544>.

5. Mansurov M.T., Rasulov A.D. *Teoreticheskoe obosnovanie parametrov vyrovnyvatel'no-uplotnitel'noy mashiny po sisteme PUSH-PULL dlya predposevnoy obrabotki pochvy*. [Theoretical substantiation of the parameters of the leveler and compactor of the combined machine using the PUSH-PULL system for pre-sowing tillage]. *Molodoy uchenyy*. 2016. no. 8 (112). pp. 256-258. (In Russ.). URL: <https://moluch.ru/archive/112/>.

6. Rzaev A.S., Gribanovskiy A.P., Goloborod'ko V.P., Bekmukhametov Sh.B., Sopov Yu.V., Suyundukov A.A. *Opreделение optimal'nykh tipov i parametrov rabochikh organov rykhlyatelya-vyrovnyvatel'noy pochvy RVP-4*. [Determination of the optimal types and parameters of the working bodies of the soil cultivator RVP-4]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. no. 2. pp. 43-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32703891>.

7. Nikiforov M.V., Firsov A.S., Andreev A.N., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V. *Rezultaty polevogo opyta vyrovnyvatel'noy pochvy pri vozdeystvii l'na-dolguntsa*. [Results of field experience of the soil leveler by cultivation of flax]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2018. no. 3 (20). pp. 91-96. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36308936>.

8. Nikiforov M.V. *Sovershenstvovanie konstruktivnykh vyrovnyvayushchikh rabochikh organov dlya predposevnoy obrabotki pochvy pod melkosemennye kul'tury*. [Improving the design of leveling working bodies for pre-sowing tillage of small-seed crops]. *Vestnik NGIEI*. 2018. no. 12 (91). pp. 30-39. (In Russ.). URL: <https://yadi.sk/i/oQFagECg5-6tMQ>.

9. Kazakov V.I., Kazakov I.V. *Analiticheskie issledovaniya protsessa vyrovnyvaniya poverkhnosti pochvy v lesnykh pitomnikakh*. [Analytical studies of the process of leveling the soil surface in forest nurseries]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. 2014. Vol. 2. no. 2-2 (7-2). pp. 93-99. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21359355>.

10. Nikiforov M.V., Morozov P.V., Golubev V.V. *Vliyaniye rezhimov raboty vyrovnyvatel'noy mashiny na sherokhovatost' pochvennogo profilya*. [The influence of the modes of soil leveler operation on the roughness of the soil profile]. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy biogeokhimicheskikh potokov veshchestv v agrolandshaftakh: Sb. nauchn.*

tr. po materialam Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., priurochennoy k 65-letiyu kafedry agrokhimii i fiziologii rasteniy Stavropol'skogo GAU. [Theoretical and technological bases of biogeochemical matter fluxes in agricultural landscapes: Collection of scientific works on materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Agrochemistry and plant physiology in Stavropol' GAU]. Stavropol: OOO «SEKVOYYa», 2018. pp. 355-358. (In Russ.).

11. Berestov V.P. *Povyshenie effektivnosti predposevnoy obrabotki pochvy.* [Improving the efficiency of pre-sowing tillage]. *Vklad molodykh uchenykh v agrarnuyu nauku: Materialy Me-zhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [The contribution of young scientists in agricultural science: Materials of the International scientific-practical conference]. Kinel': Samarskaya GSKhA, 2017. pp. 190-193. (In Russ.).

12. Jianqiao L., Yunpeng Y., Benard C., Xuejiao W., Zhaoliang W., Meng Z. «Bionic Design for Reducing Adhesive Resistance of the Ridger Inspired by a Boar's Head» *Applied Bionics and Biomechanics*. Vol. 2017. Article ID 8315972. 2017. 10 p. URL: <https://www.hindawi.com/journals/abb/2017/8315972/>.

13. Sobolevskiy I.V., Mys'kiv I.I. *Obosnovanie parametrov rabochikh organov pruzhinnogo vyravnivatelya pochvy po bionicheskomu podobiyu.* [Substantiation of parameters of working bodies of spring soil leveler on bionic similarity]. *Molodaya nauka: sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii dlya studentov i molodykh uchenykh.* [Molodaya Nauka: collection of scientific works of scientific and practical conference for students and young scientists]. Simferopol: IT «ARIAL», 2016. pp. 267-269. (In Russ.).

14. Chirende B, Li J Q, Wen L G, Simalenga T E. Effects of bionic non-smooth surface on reducing soil resistance to disc ploughing. *Sci China Tech Sci*. 2010. 53: 2960-2965. DOI: 10.1007/s11431-010-4128-8.

15. Liu R., Yao J.H., Zhang Q.L., Collier R. Sliding wear and solid-particle erosion resistance of a novel high-tungsten Stellite alloy, *Wear* 322-323 (2015) 41-50.

Received: 23.10.2018

Accepted for publication: 05.02.2019

Information about authors:

Leonid F. Babitsky, DSc in Engineering, Professor, Head. Department of mechanization and technical service in the AIC Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, p. Agrarian, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation, 295492,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8540-7229>, e-mail: rektorat@abip.cfuv.ru,

Ivan V. Sobolevsky, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanization and Technical Service in the AIC Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, p. Agrarian, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation, 295492, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1338-9065>, e-mail: rektorat@abip.cfuv.ru,

Vladimir A. Kuklin, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Mechanization and Technical Service in the AIC Academy of Bioresources and Environmental Management (Academic Unit) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, p. Agrarian, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation, 295492,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6692-9523>, e-mail: rektorat@abip.cfuv.ru

УДК 631.152:636.2.034

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.57-67

Интеллектуальная система управления и обеспечения эффективного производства продукции молочного скотоводства умной фермы*

© 2019. Ю.А. Иванов, В.К. Скоркин, П.И. Гриднев, Д.К. Ларкин

Институт механизации животноводства – Филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Оставаясь одним из крупных производителей молока (свыше 30,0 млн т в год), Россия уступает по некоторым показателям ряду западных стран. Так, затраты кормов на 1 ц продукции превышают в 1,3 раза, трудозатраты и расход электроэнергии в 2,5-3,5 раза, продуктивность коров ниже в 1,6-2,2 раза. Низкие показатели получаются из-за применения устаревших технологий: привязного содержания коров, значительного удельного веса ручного труда, низкого качества кормов и квалификации обслуживающего персонала. Внедрение современных технологий содержания скота, автоматизированной техники нового поколения, интеллектуальной системы управления технологическими процессами позволит осуществить прорыв в молочном скотоводстве путем создания умных ферм. Умные фермы с интеллектуальной системой управления технологическими процессами позволят значительно повысить эффективность производства. Управление работой умной фермы осуществляется через ряд автоматизированных блоков. При этом роль человека сводится к общему контролю и управлению работой производственного комплекса. Завершающим данной системы является автоматический блок анализа результатов деятельности предприятия и корректировки управленческих решений. На качество молока также оказывает большое влияние содержание соматических клеток, уровень которых достигает 18-29%. Созданная институтом лаборатория и разработанная компьютерная программа позволяют проводить более 15-20 тыс. анализов индивидуальных проб молока с определением основных показателей качества молока и физиологического состояния животных. Созданная система интеллектуального управления умных молочных ферм с разработанными компьютерными программами позволит снизить стоимость скотоместа до 400 тыс. рублей, себестоимость 1 кг молока до 20 рублей. При этом рентабельность производства составит 45-50%, хозяйственное использование коров – до 4-5 лактаций.

Ключевые слова: компьютерная программа, себестоимость, рентабельность, контроль качества молока

Для цитирования: Иванов Ю.А., Скоркин В.К., Гриднев П.И., Ларкин Д.К. Интеллектуальная система управления и обеспечения эффективного производства продукции молочного скотоводства умной фермы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):57-67. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.57-67.

Intelligent system of management and providing dairy cattle production effectiveness on a smart farm

© 2019. Yu.A. Ivanov, V.K. Skorkin, P.I. Gridnev, D.K. Larkin

Institute of livestock mechanization – branch of Federal state budgetary scientific institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow, Russian Federation

Russia is one of the largest milk producing countries in the world (over 30.0 million tons per year), but in some parameters western countries predominate. In our country the cost of feed per 1 centner of products exceeds 1.3 times, labor and electricity consumption 2.5-3.5 times, cow milk production is 1.6-2.2 times lower. The cause of low indexes lies in outdated technologies such as tie-up housing, a significant proportion of manual labor, low feed quality and skills of the staff. The implementation of modern livestock keeping technologies, automated machinery of a new generation, intelligent system of technological processes control will result in a leap forward in dairy farming by establishing smart farms. Smart farms with intelligent control of technological processes will lead to significant increase in production efficiency. The smart farm control is carried out through a number of automated units. The human role is reduced to the general control and industrial complex management. The final part of this system is an automatic block of the company activities results analysis and management decisions correcting. Milk quality is also influenced by the somatic cells content, the level of which reaches 18-29%. The laboratory created by the institute and the computer developed program allow to carry out more than 15-20 thousand of milk individual samples' analyses with evaluation of the main milk quality indicators and physiological condition of animals. The created system of smart dairy farms intelligent control with developed computer programs will reduce the cost of a cattle stall to 400,000 rubles, the cost of 1 kg of milk - to 20 rubles. At the same time, the production profitability will be 45-50%, the economic use of cows - up to 4-5 lactations.

Key words: computer program, cost, profitability, milk quality control

For citation: Ivanov Yu.A., Skorkin V.K., Gridnev P.I., Larkin D.K. Intelligent system of control and dairy cattle production 's effectiveness on smart farm. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):57-67. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.57-67.

* Выполнена по Госпрограмме «Разработать инновационные энергоресурсосберегающие экологически безопасные машинные технологии и создать многофункциональные технические средства нового поколения для научно обоснованного типоразмерного ряда предприятий по производству молока и говядины» (№ 0604-2014-0004).

Опубликована по материалам доклада на Международной научной конференции «Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства» (г. Киров, 2018 г.).

Анализ исследований в области молочного скотоводства показывает, что в настоящее время кардинальным направлением является создание новых и совершенствование существующих технологий и технических средств контроля и управления производственными процессами на молочных фермах и комплексах [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Актуальность работы состоит в создании интеллектуальной системы управления и обеспечения эффективного производства молочной продукции, создании умной молочной фермы с использованием автоматизированной роботизированной техники нового поколения и компьютерных программ, позволяющих повысить рентабельность производства до 45-50%, хозяйственное использование коров до 4-5 лактаций и снизить капитальные затраты до 400,0 тыс. руб. на одно скотоместо.

Дальнейшее развитие молочной отрасли напрямую зависит от того, насколько оперативно будет в России освоена система контроля и управления качеством производства и переработки молока на всех этапах его производства. Улучшение качества молока и молочных продуктов является важнейшим резервом повышения эффективности молочной отрасли и решения производственной безопасности страны.

Цель исследований – создание умной молочной фермы с интеллектуальной системой управления с целью повышения продуктивности коров, качества молока и рентабельности производства.

Новизна исследований заключается в разработке алгоритма компьютерной программы системы интеллектуального управления молочной фермой, создании информационной системы контроля качества молока и состояния животных для выработки рекомендаций по коррекции технологий содержания, кормления, доения и других технологических процессов, а также применения компьютерной программы для определения технико-экономических показателей производства.

Материал и методы. Исследования проводили путем изучения и анализа опыта работы в молочной отрасли с использованием статистических данных по Российской Федерации за 2010...2017 гг. о влиянии технологий и технических средств, применяемых в производстве молока на его качество; о создании новых и совершенствовании существующих технологий и технических средств контроля и управления обслуживанием животных с помощью компьютерных программ, разработанных в Институте механизации животноводства (ИМЖ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Результаты и их обсуждение. Современное состояние отрасли молочного скотоводства остается на уровне 2016 года. Поголовье коров во всех категориях хозяйств сократилось на 15,4 тыс., в сельскохозяйственных организациях на 43,8 тыс. голов, в хозяйствах населения на 26,6 тыс. голов и только в крестьянских (фермерских) хозяйствах поголовье коров увеличилось на 55,0 тыс. (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Поголовье крупного рогатого скота в Российской Федерации, тыс. голов¹
Number of cattle in the Russian Federation, th. Heads¹

Наименование / Title	2010 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
<i>Хозяйства всех категорий / Farms of all categories</i>				
Крупный рогатый скот / Cattle	19793,9	18620,9	18346,1	18294,2
в т.ч. коровы / cows	8713,0	8115,2	7966,0	7950,6
<i>Сельскохозяйственные организации / Agricultural organizations</i>				
Крупный рогатый скот / Cattle	9256,5	8447,8	8355,9	8252,2
в т.ч. коровы / cows	3712,7	3387,4	3359,5	3315,7
<i>Хозяйства населения / Households</i>				
Крупный рогатый скот / Cattle	9061,6	7931,8	7567,2	7500,8
в т.ч. коровы / cows	4291,1	3621,9	3426,8	3400,2
<i>Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели / Peasant (farmer enterprises and individual entrepreneurs)</i>				
Крупный рогатый скот / Cattle	1475,7	2241,3	2423,0	2541,3
в т.ч. коровы / cows	709,1	1105,9	1179,7	1234,7

¹Данные Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#(дата обращения: 12.11.2018).

Производство молока в хозяйствах всех категорий в 2017 году составило 30184,5 тыс. тонн, что на 1,3% больше уровня 2016 года. В сельхозорганизациях производство увеличилось на 4,1%, в крестьянских (фермерских)

хозяйствах – на 9,3%. Положительный результат обеспечен за счет нового строительства молочных ферм и комплексов, дальнейшей технологической и технической модернизации молочной отрасли (табл. 2) [7, 8].

Таблица 2 / Table 2

Производство основных продуктов животноводства в Российской Федерации, тыс. тонн¹
The basic animal products' producing in the Russian Federation, th. tons¹

Наименование / Title	2000 г.	2010 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
<i>Хозяйства всех категорий / Farms of all categories</i>					
Скот и птица на убой / Cattle and poultry for slaughter	4445,8	7164,8	9518,5	9853,3	10319,0
в том числе / including:					
- крупный рогатый скот / cattle	1897,9	1711,5	1617,1	1588,8	1569,3
Молоко / milk	32259,0	31507,8	29887,5	29787,2	30184,5
<i>Сельскохозяйственные организации / Agricultural organizations</i>					
Скот и птица на убой/ Cattle and poultry for slaughter	1786,5	4342,3	7129,5	7515,8	8040,4
в том числе / including :					
- крупный рогатый скот/ cattle	815,8	565,3	525,9	536,2	544,4
Молоко / milk	15271,1	14313,2	14718,0	15061,2	15673,7
<i>Хозяйства населения / Households</i>					
Скот и птица на убой / Cattle and poultry for slaughter	2579,5	2612,6	2106,3	2045,3	1973,3
в том числе / including :					
- крупный рогатый скот / cattle	1048,1	1065,2	959,3	916,6	877,9
Молоко / milk	16420,2	15719,9	13158,6	12552,0	12135,4
<i>Крестьянские (фермерские хозяйства и индивидуальные предприниматели) / Peasant (farmer enterprises and individual entrepreneurs)</i>					
Скот и птица на убой/ Cattle and poultry for slaughter	79,8	209,9	282,6	292,2	305,3
в том числе / including :					
- крупный рогатый скот / cattle	33,9	81,0	131,9	136,0	147,0
Молоко / milk	567,7	1474,7	2010,9	2174,0	2375,4

Анализ состояния материально-технической базы животноводства показывает, что без осуществления коренной ее модернизации на основе использования инновационных достижений отечественной и мировой науки и производства невозможно осуществить возрождение и развитие отрасли, повысить эффективность производства.

Россия остается одной из крупных стран по производству молока (более 30 млн тонн в год). В то же время по некоторым производственно-экономическим показателям уступает

ряду западных стран: удельные затраты кормов на производство продукции выше в 1,3-2,0 раза; трудозатраты и расход электроэнергии – в 2,5-3,5 раза, продуктивность коров – ниже в 1,6-2,2 раза [9].

Существующие фермы, в основном привязного содержания животных (72%), в которых часть технологических процессов выполняется вручную, имеют низкую производительность труда и большие затраты на производство 1 ц продукции^{2,3}.

²Стратегия развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 / Н.М. Морозов (и др.). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. 152 с.

³Основные направления стратегии устойчивого социально-экономического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / под научн. руковод. акад. РАН И.Г. Ушачева. М., 2018. 57 с.

Создание умной фермы с интеллектуальной системой управления технологически-

ми процессами позволит значительно повысить эффективность производства (рис. 1).

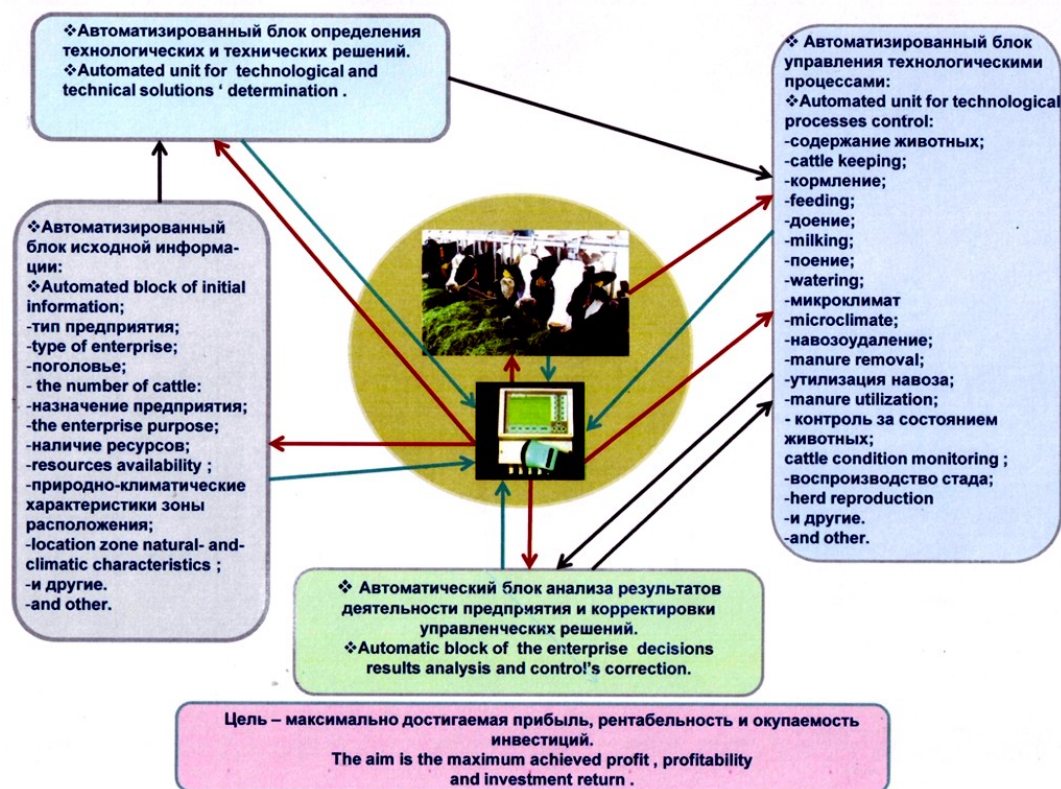


Рис. 1. Интеллектуальная система управления умной фермой
Fig 1. Intelligent system of smart control

При комплексной автоматизации все предприятия, включая подразделения (участки, цеха, службы), функционируют как единый взаимосвязанный комплекс. Такая автоматизация охватывает все основные производственные и управленческие функции на предприятии. При этом роль человека сводится к общему контролю и управлению работой производственного комплекса.

Управление работой умной фермой осуществляется через ряд автоматизированных блоков.

Автоматизированный блок исходной информации предусматривает выбор типа предприятия, его назначения, наличие ресурсов, планируемое поголовье, природно-климатическая характеристика зоны расположения планируемой фермы, создание кормовой базы, наличие компьютерных программ и другое. Данный блок через центральный центр управления связан с автоматизированным блоком определения технологических и технических решений. Это наиболее значительный блок, определяющий основу планируемой фермы – ее технологическую часть и техническое оснащение технологических процессов.

Наиболее ответственный – автоматизированный блок управления технологическими процессами: содержание животных, кормление, доение, поение, навозоудаление, утилизация навоза, создание комфортных условий для содержания животных, всех основных производственных процессов, определяющих эффективное производство продукции животноводства.

Завершающим в системе интеллектуального управления умной фермой является автоматический блок анализа результатов деятельности предприятия и корректировки управленческих решений.

Для контроля получения высококачественного молока следует применять систему управления технологическими процессами на основе анализа всех рисков технологического производства. Производителям молока важно знать, какие факторы влияют на характеристики качества молока. Специалисты хозяйств зачастую недооценивают потери, связанные с высоким содержанием соматических клеток в молоке, т.к. внешне молоко выглядит доброкачественным.

Результаты исследований ряда авторов показывают, что снижение продуктивности

коров в связи с повышенным содержанием соматических клеток весьма существенно и достигает уровня 18-29% [10]. По данным отечественных и зарубежных ученых, показатель удоя на 25% обусловлен генетическими факторами и на 75% прочими, из которых 35% составляют условия кормления и содержания, 25% – состояние здоровья животного и 15% – возраст и сезон лактации [10, 11].

Создание системы контроля качества молока подразумевает системный подход к решению проблемы. В такой системе все объекты взаимосвязаны прямыми и обратными информационными каналами. Схема взаимо-

действия участвующих в системе объектов представлена на рисунке 2.

Взаимодействие производителей с лабораторией контроля качества молока и аналитическим центром обработки результатов анализов обеспечивается с помощью сервера, доступ к которому должны иметь все задействованные в системе объекты.

На качество молока оказывают влияние индивидуальные, породные, физиологические особенности животных и целый комплекс внешних условий, в которых они содержатся (рис. 3.) [12, 13].

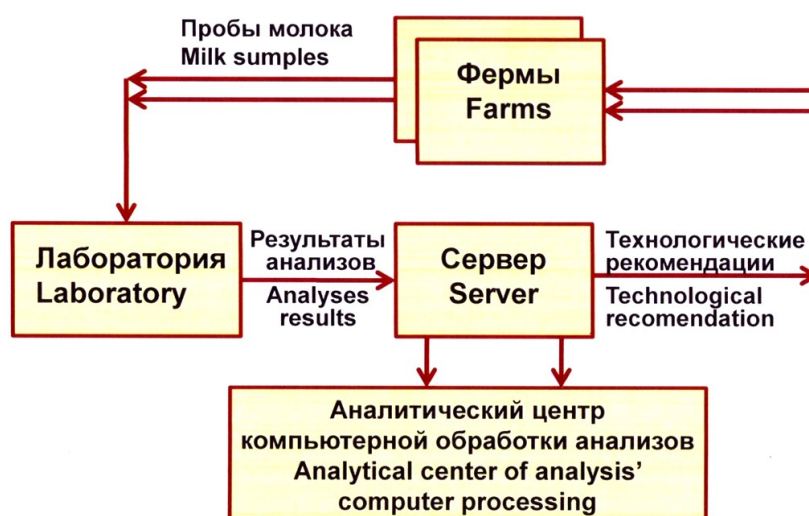


Рис. 2. Схема взаимодействия объектов в системе контроля качества молока
Fig. 2. Scheme of interaction between objects in the milk quality system control

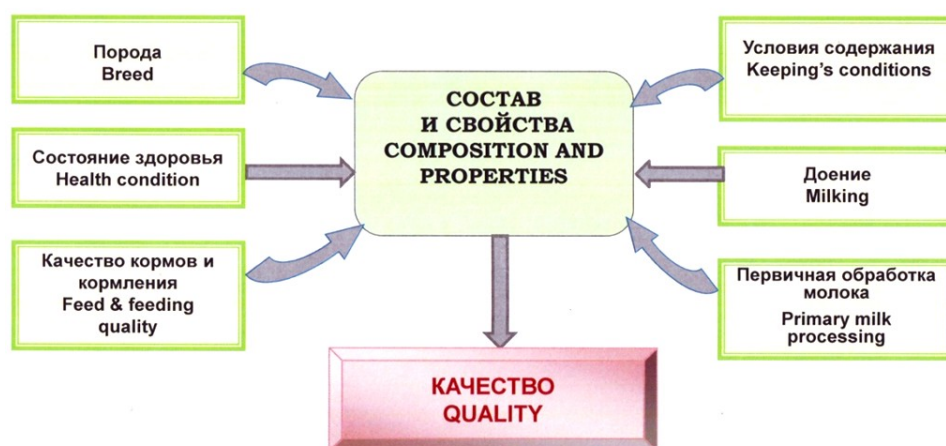


Рис. 3. Влияние различных факторов на производство качественного молока
Fig. 3. Influence of various factors on quality milk production

Созданная в ИМЖ – филиале ФГБНУ ФАНЦ ВИМ молочная лаборатория с современным молочным оборудованием и разработанная компьютерная программа позволяют

ежемесячно проводить более 15 тысяч анализов индивидуальных проб молока с определением основных показателей качества молока и физиологического состояния животных.

Производство высококачественной молочной продукции способствует повышению эффективности отрасли и сокращению сроков окупаемости капитальных вложений на новое строительство и модернизацию животноводческих объектов.

В условиях быстро меняющихся социально-экономических возможностей хозяйствования и на фоне постоянного роста цен на энергоносители, технику, корма, транспорт возникает необходимость быстрой и достаточно точной оценки экономической эффективности финансовых инвестиций в производстве молока, создание новых предприятий, отвечающих современным требованиям.

Наиболее быстрым и надежным методом решения таких задач является экономико-

математическое моделирование предприятий, позволяющее получить его основные технико-экономические показатели, математическое описание имеющихся данных по технологиям производства [14]. На рисунке 4 приведены технико-экономические показатели фермы мощностью 400 голов беспривязного способа содержания, с доением в доильном зале. Учитывая, что затраты на корма составляют более 40-45% от общих годовых эксплуатационных расходов, необходимо рациональное их использование и снижение удельного веса в структуре затрат. Результаты расчёта капитальных и годовых эксплуатационных затрат молочно-товарной фермы на 400 голов приведены в таблицах 3 и 4.

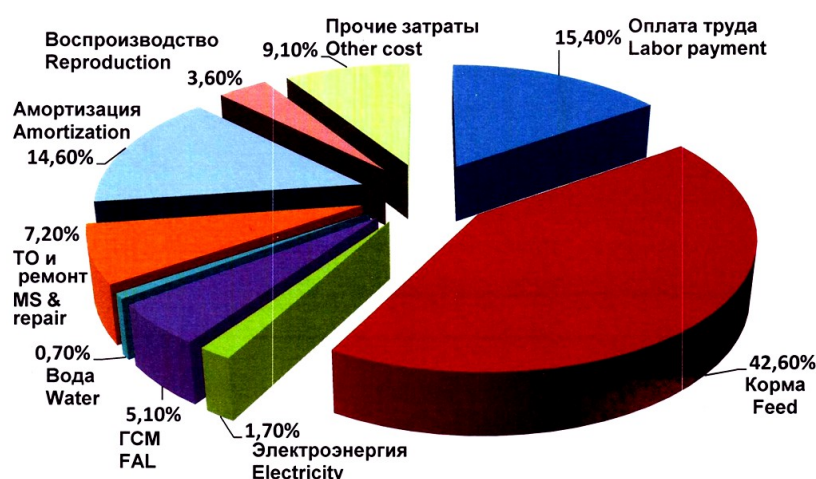


Рис. 4. Структура эксплуатационных затрат фермы на 400 голов

Fig. 4. Structure of operating costs of dairy farm for 400 heads

Таблица 3 / Table 3

Капитальные затраты фермы на 400 голов
Capital costs of dairy farm for 400 heads

Показатель / Indicator	Капитальные вложения / Capital investment	
	тыс. руб. /th. rub.	%
Здания и сооружения / Buildings and structures	64966,2	59,7
Содержание / Keeping	4055,74	3,7
Заготовка кормов / Feed preparation	7654,4	7,0
Приготовление и раздача кормов /Feed preparation and distribution	4141,8	3,8
Водоснабжение / Water supply	3008,2	2,8
Доеение / Milking	7327,5	6,7
Уборка и удаление навоза / Manure cleaning and removal	4676,1	4,3
Электроснабжение / Electro supply	605,254	0,6
Теплоснабжение / Heat supply	2837,9	2,6
Ветобеспечение / Vet ensuring	3248,3	3,0
Переработка молока (ПМ) / Processing of milk (PM)	6240,0	5,7
Всего капвложений / Total of capital investments	108761,4	100

Таблица 4 / Table 4

Годовые эксплуатационные затраты фермы на 400 голов
Annual operating costs of dairy farm for 400 heads

Показатель / Indicator	Годовые эксплуатационные затраты по блокам / Annual operating costs at the block		
	тыс. руб./год / th. rub. / an year	без ПМ / without PM, %	с ПМ / with PM, %
Здания и сооружения / Buildings and structures	8344,5	12,8	12,2
Содержание / Keeping	839,5	1,3	1,2
Заготовка собственных кормов / Own feed preparation	10325,1	15,9	15,1
Приготовление и раздача кормов / Feed preparation and distribution	2843,0	4,4	4,2
Водоснабжение / Water supply	965,0	1,5	1,4
Доеение / Milking	3148,3	4,8	4,6
Уборка и удаление навоза / Manure cleaning and removal	3081,3	4,7	4,5
Электроснабжение / Electrosupply	1501,1	2,3	2,2
Теплоснабжение / Heat supply	1335,3	2,1	2,0
Ветобеспечение / Vet ensuring	2551,1	3,9	3,7
Переработка молока / Processing of milk	3385,2		4,9
Зарплата и управление / Salary and management	11391,7	17,5	16,6
Покупные корма / Purchased feed	17949,9	27,6	26,2
Подстилка / Litter	781,5	1,2	1,1
Всего затрат/ Total costs	65057,4	100,0	100,0
Всего с переработкой молока (ПМ) / Total with processing of milk (PM):	68442,6	-	-

По приведенным результатам определены основные технико-экономические показатели

ли молочной фермы на 400 голов при продуктивности коров 8000 кг молока в год (табл. 5).

Таблица 5 / Table 5

Основные технико-экономические показатели молочной фермы на 400 голов
The main technical and economic indicators of dairy farm for 400 heads

Показатель / Indicator	Значение / Value
Единовременные капиталовложения, тыс. руб. / One-time capital investments, th. rub.	108761,4
Годовые издержки производства, тыс. руб./год / Annual production costs, th. rub/an year	51616,5
Производство молока, т/год / Milk productivity, t / an year	2668,6
Себестоимость молока, руб./кг / Cost of milk, rub./kg	19,3
Доход от молока, тыс. руб./год / Income from milk, th. rub. / an year	76322,0
Стоимость одного скотоместа, тыс. руб. / The cattle place's cost, th. rub.	362,8
Рентабельность производства молока, % / Milk production profitability, %	47,9

Известно, что качество продукции сегодня практически целиком зависит от человеческого фактора, например, от соблюдения оператором технологического регламента. В то же время по ряду причин обеспечить полноценный контроль его работы практически невоз-

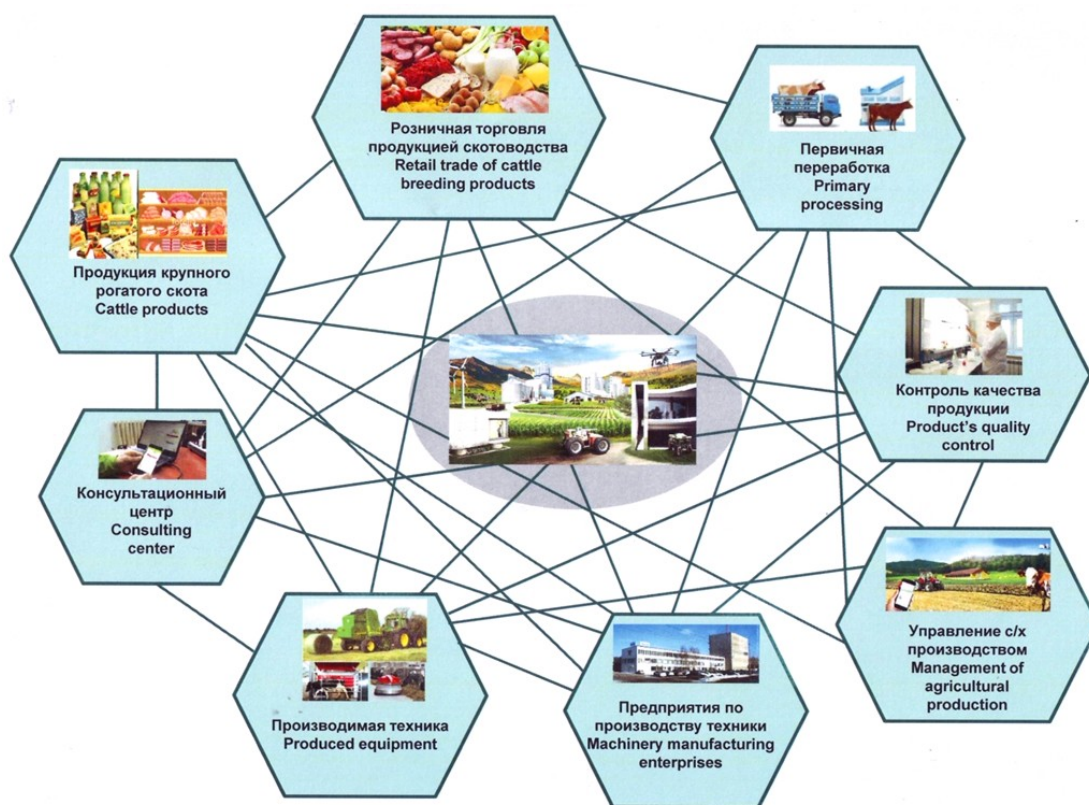
можно. Современный отечественный и зарубежный опыт комплексной автоматизации производства позволяет максимально сократить участие человека в сложных технологических процессах, исключить его влияние на уровень соблюдения технологических инст-

рукций, освободить работника от управления локальными операциями, оставляя за ним организацию взаимодействия оборудования:

- поддерживать заданный технологический режим, обеспечивать высокую точность соблюдения параметров технологий, рецептур, дозировки компонентов;
- контролировать качество продукции на основных этапах;
- отслеживать количество и ассортимент продукции, оперативно изменять их;
- выявлять отклонения, минимизировать потери сырья и материалов;
- получать в оперативном режиме комплексную информацию о производстве для последующего технико-экономического анализа [15].

Большинство решений автоматизации и информатизации деятельности создается исходя из индивидуальных требований различных подразделений предприятия и в соответствии с их функциями. На практике отсутствует системный подход, хотя оптимальная структура управления требует высокого уровня информационных связей, взаимоувязанной работы всех секторов, подчинения их единым целям и задачам. Ситуация осложняется еще и тем, что работа каждого сектора опирается на различные аппаратные, программные и информационные стандарты.

На рисунке 5 представлена схема систем взаимодействия отраслей в АПК, работа которых в целом направлена на повышение эффективности производства продукции животноводства.



**Рис. 5. Система обеспечения эффективного функционирования
производства продукции животноводства**

Fig. 5. The system of providing the effective functioning of livestock products manufacturing

Согласованность работы каждого сектора является сложной организационно-правовой формой дальнейшего развития АПК.

Оторванность производителей молочной продукции от первичной переработки, контроля качества производимой продукции и ее реализации снижает эффективность ра-

боты сельхозпредприятий, их доходность и рентабельность. Взаимосвязь секторов осуществляется через консультационный центр региона, который совместно с управлением сельскохозяйственного производства определяет потребность в технике и предприятия по ее выпуску.

Такая структура интеллектуальной системы управления и обеспечения эффективного производства продукции молочного скотоводства на основе умной фермы может быть рекомендована для муниципальных и региональных образований.

Выводы. С развитием отрасли молочного скотоводства, созданием новых энергоресурсосберегающих технологий, современных машин и оборудования остро встает вопрос о разработке интеллектуальной системы управления производством молочных ферм нового поколения.

Механизация и автоматизация производственных процессов с использованием компьютерных программ обеспечивает кон-

троль за физиологическим состоянием животных и качеством получаемой продукции.

Наиболее быстрым и надежным методом создания новых ферм и комплексов является экономико-математическое моделирование предприятий, позволяющее получить основные технико-экономические показатели молочной фермы. Результаты расчета основных показателей фермы на 400 коров при продуктивности 8000 кг молока в год при себестоимости 19,3 руб./кг, стоимости одного скотоместа 362,8 тыс. руб. обеспечивает рентабельность производства 47,9%, окупаемость инвестиций 4 года, продление хозяйственного использования коров до 4-5 лактаций.

Список литературы

1. Иванов Ю.А. Новые технологии в животноводстве // Техника и оборудование для села. 2010. №1. С. 36-39. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_13062860_53813149.pdf
2. Цой Ю.А., Толоконников Г.К. Контуры управления в автоматизации функционирования умной фермы // Вестник ВНИИМЖ. 2017. № 4 (28). С. 37-42. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n28.pdf>.
3. Морозов Н.М., Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Бакач Н.Г., Передня В.И. Техническое оснащение "умной фермы" по производству конкурентоспособного молока // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 2 (30). С. 22-26. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n30.pdf>.
4. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Краснощеков В.Н., Федоренко В.Ф. Управление качеством в сельском хозяйстве. М., 2011. 344 с.
5. Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Кондратьев И.Н. Отечественная инновационная техника – важный фактор повышения эффективности производства молока в условиях импортозамещения // Вестник ВНИИМЖ. 2017. №2 (26). С. 91-95. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n26.pdf>.
6. Денисова Н.В. Отечественный и зарубежный опыт производства молока // Вестник НГИЭИ. 2012. №1(8). С. 32-38. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_18047167_78315408.pdf.
7. Милосердов В., Борхунов Н., Родионова О. Импортозамещение, продовольственная независимость и аграрная политика // АПК: экономика, управление. 2015. №3. С. 3-12. Режим доступа: http://www.vniiesh.ru/publications/zhurnal_laquoapk/mart_15/20660.html.
8. Скоркин В.К. Технологии и технические средства для модернизации объектов по производству молока и говядины // Вестник ВНИИМЖ. 2018. №3. С. 6-10. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n31.pdf>.
9. Рассказов А.Н. Перспективы развития цифрового молочного животноводства в России // Вестник ВНИИМЖ. 2018. №3(31). С. 20-25. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n31.pdf>.
10. Серянкин А.В., Фуников Ю.В. Правильное кормление – залог высокого качества молока // Животноводство России. 2010. №2. С. 43-44. Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33835099>.
11. Лоретц О.Г. Влияние технологии содержания и кратности доения на продуктивность коров и качество молока // Аграрный Вестник Урала. 2013. №8. (114). С. 72-74. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_20499324_47918984.pdf.
12. Скоркин В.К., Ларкин Д.К., Тихомиров И.А., Карпов В.П. Технологическое и техническое обеспечение производства высококачественного молока // Вестник ВНИИМЖ. 2018. №1(29). С. 16-23. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n29.pdf>.
13. Тихомиров И.А. Перспективные технологии производства органической продукции молочного скотоводства на фермах модульного типа // Вестник ВНИИМЖ. 2018. №3. С. 96-104. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n31.pdf>.
14. Тяпугин Е.А., Тяпугин С.Е., Симонов Г.А., Углин В.К., Никифоров В.Е., Сереброва И.С. Сравнительная оценка технологических факторов, влияющих на производство и качество молока при разных технологиях доения // Российская сельскохозяйственная наука. 2015. №3. С. 50-53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23294138>.

15. Морозов Н.М. Цифровые автоматизированные технологии в животноводстве – основа модернизации отрасли // Вестник ВНИИМЖ. 2018. №2(30). С. 61-69. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n30.pdf>.

Поступила: 21.12.2018

Принята к публикации: 12.02.2019

Сведения об авторах:

Иванов Юрий Анатольевич, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, врио директора Института механизации животноводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» («ИМЖ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ»), д. 31, пос. Знамя октября, поселение Рязановское, г. Москва, Российская Федерация, 108823.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-4556>, e-mail: vniimzh@mail.ru,

Скоркин Владимир Кузьмич, доктор с.-х. наук, профессор, зав. лабораторией Института механизации животноводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» («ИМЖ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ»), д. 31, пос. Знамя октября, поселение Рязановское, г. Москва, Российская Федерация, 108823. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7279-2594>, e-mail: vniimzh@mail.ru,

Гриднев Павел Иванович, доктор техн. наук, зам. директора Института механизации животноводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» («ИМЖ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ»), д. 31, пос. Знамя октября, поселение Рязановское, г. Москва, Российская Федерация, 108823, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2487-5456>, e-mail: vniimzh@mail.ru,

Ларкин Дмитрий Константинович, кандидат техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института механизации животноводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» («ИМЖ – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ»), д. 31, пос. Знамя октября, поселение Рязановское, г. Москва, Российская Федерация, 108823.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5158-6476>, e-mail: vniimzh@mail.ru.

References

1. Ivanov Yu.A. *Novye tekhnologii v zhivotnovodstve*. [New technologies in livestock production]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2010. no. 1. pp. 36-39. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_13062860_53813149.pdf.
2. Tsoy Yu.A., Tolokonnikov G.K. *Kontury upravleniya v avtomatizatsii funktsionirovaniya umnoy fermy*. [The counters of control in automatization of the smart farm functioning] *Vestnik VNIIMZh*. 2017. no. 4 (28). pp. 37-42. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n28.pdf>.
3. Morozov N.M., Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Bakach N.G., Perednya V.I. *Tekhnicheskoe osnashchenie "umnoy fermy" po proiz-vodstvu konkurentosposobnogo moloka*. [The technical support of «smart farm» in production of rival milk]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. no. 2 (30). pp. 22-26. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n30.pdf>.
4. Chernoiyanov V.I., Ezhevskiy A.A., Krasnoshchekov V.N., Fedorenko V.F. *Upravlenie kachestvom v sel'skom khozyaystve*. [Quality control in agriculture]. Moscow, 2011. 344 p. (In Russ.).
5. Kondrat'eva O.V., Fedorov A.D., Kondrat'ev I.N. *Otechestvennaya innovatsionnaya tekhnika – vazhnyy faktor povysheniya effektivnosti pro-izvodstva moloka v usloviyakh importozameshcheniya*. [Innovative domestic machinery is an important factor for increase in milk production efficiency under import substitution conditions]. *Vestnik VNIIMZh*. 2017. no. 2(26). pp. 91-95. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n26.pdf>.
6. Denisova N.V. *Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt proizvodstva moloka*. [Domestic and foreign experience in milk production]. *Vestnik NGIEI*. 2012. no. 1(8). pp. 32-38. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_18047167_78315408.pdf.
7. Miloserdov V., Borkhunov N., Rodionova O. *Importozameshchenie, prodovol'stvennaya nezavisimost' i agrarnaya politika*. [Import substitution, food independence and agrarian policy]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2015. no. 3. pp. 3-12. (In Russ.). URL: http://www.vniiesh.ru/publications/zhurnal_laquoapk/mart_15/20660.html.
8. Skorkin V.K. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya modernizatsii ob"ektov po proizvodstvu moloka i govyadiny*. [Technology and equipment for milk and beef production facilities modernization]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. no. 3. pp. 6-10. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n31.pdf>.
9. Rasskazov A.N. *Perspektivy razvitiya tsifrovogo molochnogo zhi-votnovodstva v Rossii*. [The prospects of digital dairy farming development in Russia]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. no. 3(31). pp. 20-25. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n31.pdf>.

10. Seryankin A.V., Funikov Yu.V. *Pravil'noe kormlenie – zalog vysokogo kachestva moloka*. [Proper feeding – is the key of high quality milk]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2010. no. 2. pp. 43-44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33835099>.
11. Loretts O.G. *Vliyanie tekhnologii soderzhaniya i kratnosti doeniya na produktivnost' korov i kachestvo moloka*. [Influence of keeping technology and milking frequency on cow milk performance and milk quality]. *Agrarnyy Vestnik Urala*. 2013. no. 8(114). pp. 72-74. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20499324_47918984.pdf.
12. Skorkin V.K., Larkin D.K., Tikhomirov I.A., Karpov V.P. *Tekhnologicheskoe i tekhnicheskoe obespechenie proizvodstva vysokokachestvennogo moloka*. [Technological and technical support of high quality milk producing]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. no. 1(29). pp. 16-23. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n29.pdf>.
13. Tikhomirov I.A. *Perspektivnye tekhnologii proizvodstva orga-nicheskoy produktsii molochnogo skotovodstva na fermakh modul'nogo tipa*. [The advanced technologies of dairy cattle organic production on modular type farms]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. no. 3. pp. 96-104. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n31.pdf>.
14. Tyapugin E.A., Tyapugin S.E., Simonov G.A., Uglin V.K., Nikiforov V.E., Serebrova I.S. *Sravnitel'naya otsenka tekhnologicheskikh faktorov, vliyayushchikh na proizvodstvo i kachestvo moloka pri raznykh tekhnologiyakh doeniya*. [Comparative estimation of technological factors influencing the milk production and quality at different milking technologies]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2015. no. 3. pp. 50-53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23294138>.
15. Morozov N.M. *Tsifrovyye avtomatizirovannyye tekhnologii v zhivotnovodstve – osnova modernizatsii otrasli*. [Automated digital technologies in animal breeding are the basis of branch modernization]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. no. 2(30). pp. 61-69. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n30.pdf>.

Received: 21.12.2018

Accepted for publication: 12.02.2019

Information about authors:

Yuri A. Ivanov, DSc in Agriculture, professor, academician of RAS, acting Director Institute of livestock mechanization - the branch of FGBNY "The Federal Agroengineering Research Center VIM», the village of Znamya Oktyabrya, 31, Ryazanovskoe settlement, Moscow, Russian Federation, 108823, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-4556>**, e-mail: vniimzh@mail.ru,

Vladimir K. Skorkin, DSc in Agriculture, professor, head of laboratory Institute of livestock mechanization - the branch of FGBNY "The Federal Agroengineering Research Center VIM», the village of Znamya Oktyabrya, 31, Ryazanovskoe settlement, Moscow, Russian Federation, 108823, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7279-2594>**, e-mail: vniimzh@mail.ru,

Pavel I. Gridnev, DSc in Engineering, deputy director Institute of livestock mechanization - the branch of FGBNY "The Federal Agroengineering Research Center VIM», the village of Znamya Oktyabrya, 31, Ryazanovskoe settlement, Moscow, Russian Federation, 108823, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2487-5456>**, e-mail: vniimzh@mail.ru,

Dmitry K. Larkin, PhD in Engineering, associate professor, leading researcher Institute of livestock mechanization - the branch of FGBNY "The Federal Agroengineering Research Center VIM», the village of Znamya Oktyabrya, 31, Ryazanovskoe settlement, Moscow, Russian Federation, 108823, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5158-6476>**, e-mail: vniimzh@mail.ru.

Дифференцированный учет молока при доении в молокопровод*

© 2019. А.А. Рылов¹, П.А. Савиных^{1,2}, В.Н. Шулятьев¹

¹ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Киров, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н.В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Статья посвящена теоретическому и экспериментальному обоснованию технической возможности дифференцированного учета молока при доении в молокопровод. Экспериментальные исследования выполнены в 2017...2018 гг. в коровнике на 200 голов одного из предприятий Кировской области. Продолжительность доения в зависимости от интенсивности молокоотдачи разбита на три этапа: начальный, основной и заключительный. Выполнен теоретический анализ процесса истечения молока из соска вымени коровы. Получены аналитические выражения для определения текущего расхода молока во время доения. Исследованы и проанализированы в течение всего процесса извлечения молока вакуумный режим в подсосковых камерах двухтактного доильного аппарата и интегральные графики удоя при доении коров в молокопровод. Выявлена слабая взаимосвязь ($R^2 = 0,06...0,15$) между текущим удоем и соответствующим ему разрежением в подсосковой камере доильного стакана во время доения. Весьма тесная взаимосвязь ($R^2 = 0,95$) между удоем и продолжительностью извлечения молока подтверждает возможность дифференцированного учета удоя путем измерения действительного времени извлечения молока во время каждого рабочего цикла. Разработаны математические модели алгоритма функционирования устройств дифференцированного учета молока во время доения. Дифференцированный учет молока во время доения технически может быть осуществлен путем добавления в устройство почетвертного контроля интенсивности молокоотдачи блоков измерения времени действительного извлечения молока в течение каждого рабочего цикла, расчета и индикации удоя. Использование доильных аппаратов с функцией дифференцированного учета выдоенного молока позволит повысить срок продуктивного использования животных, количество и качество выдоенного молока.

Ключевые слова: разрежение, доильный аппарат, коллектор, подсосковая камера, почетвертной удой, сосание, сосковая резина, такт, цикл

Для цитирования: Рылов А.А., Савиных П.А., Шулятьев В.Н. Дифференцированный учет молока при доении в молокопровод. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):68-75. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.68-75.

The differentiated milk recording when milking into the milk line

© 2019. A.A. Rylov¹, P.A. Savinykh^{1,2}, V.N. Shulyatyev¹

¹Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russian Federation,

²Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky,
Kirov, Russian Federation

The article is devoted to theoretical and experimental substantiation of technical capability of the differentiated recording of milk when milking into the milk line. The pilot studies were carried out in 2017 ... 2018 in the cowshed for 200 heads of one of the enterprises of the Kirov region. Milking duration depending on intensity of milk secretion was divided into three stages: initial, main and final. The theoretical analysis of the process of milk secretion from an udder nipple of a cow was made. Analytical expressions for definition of the current flow rate of milk were received during milking. The vacuum mode in under-mamillary chambers of the duple milking machine and integrated schedules of milk yield were studied and analyzed during the whole process of milking into the milk line. The weak interrelation between the current milk yield and corresponding vacuum in the under-mamillary chamber of a teat cup was revealed during milking ($R^2 = 0.06...0.15$). Very close interrelation ($R^2 = 0.95$) between milk yield and duration of milk secretion confirmed a possibility of differentiated recording of milk yield by measurement of the real time of milk outflow during each working cycle. Mathematical models of an algorithm of functioning of devices of the differentiated recording of milk have been developed during milking. Differentiated milk recording during milking can be technically carried out by addition into the device of udder on-quarters milking monitoring of milk secretion intensity the blocks of measurement of time of the real milk flow during each working cycle, calculation and indication of milk yield. Use of milking machines with function of differentiated recording of the milk yield will allow to increase the duration of productive use of animals, quantity and quality of the milk yield.

Key words: vacuum, milking apparatus, collector, under-mamillary chamber, udder on-quarters milking, sucking, teat cup liner, phase, cycle

For citation: Rylov A.A., Savinykh P.A., Shulyatyev V.N. The differentiated milk recording when milking into the milk line. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):68-75. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.68-75.

*Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Дифференцированный учет выдоенного молока позволяет оператору во время доения оперативно по удою в четвертях вымени контролировать физиологическое состояние каждой особи и минимизировать негативное влияние сухого доения. В настоящее время для удовлетворения объективной потребности в дифференцированном учёте молока непосредственно во время доения, как правило, теоретически обосновываются [1, 2], экспериментально исследуются [3, 4], разрабатываются и патентуются [5, 6, 7] технические средства, реализующие объемный принцип измерения удоя.

Цель исследований – теоретическое и экспериментальное обоснование технической возможности дифференцированного учета выдоенного молока на базе доильного аппарата, снабженного устройством почетвертного контроля интенсивности молокоотдачи.

Материал и методы. Экспериментальные исследования выполнены в 2017...2018 гг. в типовом коровнике на 200 голов привязного содержания с молокопроводом в одном из хозяйств Кировской области. Средний годовой удой на корову на момент проведения экспериментов составлял 7100 л. Измерения продолжительности доения, величины удоя, вакуумного режима выполняли во время дневной дойки. В опытах использован доильный аппарат с устройством почетвертного контроля интенсивности молокоотдачи [8]. Измерения разрежения в подсосковой камере доильного стакана и в молокопроводе выполнены с помощью вакуум-тестера «Тензор-7». В расчетах использованы средние показатели разрежения в подсосковой камере за цикл. Удой фиксировали с интервалом в 12 с посредством молокомера WAIKATO MK5.

Результаты и их обсуждение. Физиологический процесс молокоотдачи коров и функционирование доильных аппаратов обуславливают нестационарный режим движения молока. По мнению профессора В.М. Ульянова [9], продолжительность нестационарного движения молока на выходе из соска не превышает 1,5% от длительности такта сосания, поэтому можно считать, что с момента открытия молоковыводящего канала наступает стационарный режим движения. Измерение интенсивности молокоотдачи непосредственно на выходе из соска внутри сосковой резины

осуществить технически сложно и экономически нецелесообразно, поскольку сосковая резина является расходным материалом с максимальным сроком использования шесть месяцев. Рациональнее использовать участок за пределами сосковой резины на входе в коллектор, где установлен датчик [8] устройства почетвертного контроля интенсивности молокоотдачи. Расстояние от сфинктера выводного канала до датчика относительно невелико, поэтому на участке сфинктер-коллектор движение потока молока подчиняется общим законам течения капельной жидкости. Из условия неразрывного движения потока однородной жидкости в пределах продолжительности каждого такта сосания следует, что

$$Q_{сф,i} = Q_i,$$

где $Q_{сф,i}$ и Q_i – соответственно текущие расходы молока на выходе из соска вымени и на входе в коллектор (расчетное сечение), м³/с.

Наличие молока в цистерне вымени, избыточное в ней давление, сопротивление сфинктера и разрежение в подсосковой камере доильного стакана определяют в совокупности текущий расход молока. Процесс истечения молока из соска (рис. 1) с момента открытия сфинктера в такте сосания аналогичен истечению жидкости через отверстие (насадок). Текущий расход молока из соска вымени может быть определен по выражению:

$$Q_i = \mu f \sqrt{2gH_i},$$

где Q_i – текущий расход молока, м³/с; μ – коэффициент расхода; f – площадь выводного канала соска, м²; H_i – текущий напор, м.

Боковые стенки соска вымени на расстоянии менее трех линейных размеров диаметра отверстия выводного канала оказывают влияние на степень сжатия струи, при этом коэффициент расхода возрастает¹.

Геометрические размеры (рис. 1) соска вымени коровы отвечают требованиям цилиндрического насадка $l = (2...3)d$, но не соответствуют условию совершенного сжатия $e = 5,97 \text{ мм} < 3d = 8,31 \text{ мм}$. Усредненные размеры соска вымени коровы равны: $d = 2,77 \text{ мм}$ – диаметр отверстия выводного канала; $l = 8,5 \text{ мм}$ – длина выводного канала; e – расстояние по периметру от отверстия до внутренней стенки соска, мм; $D = 14,7 \text{ мм}$ – внутренний диаметр соска [10].

¹Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвидз и др. / под ред. И.И. Куколевского. 4-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1981. 464 с

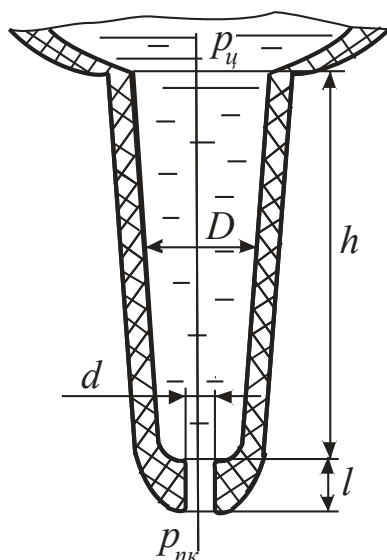


Рис. 1. Схема истечения молока из соска
Fig. 1. The scheme of milk secretion from a nipple

Результаты анализа усредненных геометрических параметров соска вымени коровы свидетельствуют о необходимости корректировки коэффициента расхода молока из соска вымени коровы с учетом несовершенного сжатия. Коэффициент расхода с учетом несовершенного сжатия может быть определен по выражению²:

$$\mu = \mu_{\text{нес.}} = \mu_c \left[1 + 0,64 \left(\frac{f}{F} \right)^2 \right],$$

где $\mu_c = 0,82$ – коэффициент расхода через внешний цилиндрический насадок при совершенном сжатии; F – смоченная площадь стенок, в которой расположено отверстие, м².

Текущий напор истечения равен

$$H_i = \frac{p_{\text{нк},i} - p_{c,i} + p_{u,i}}{\rho_m g} + h_i,$$

где $p_{\text{нк},i}$ – текущее разрежение в подсосковой камере, Па; $p_{c,i}$ – текущее сопротивление сфинктера, Па; $p_{u,i}$ – текущее избыточное цистернальное давление, Па; ρ_m – плотность молока, кг/м³; h_i – текущий уровень молока в цистерне соска вымени коровы, м.

С учетом вышеизложенного текущий расход молока будет равен

$$Q_i = \mu_c \left[1 + 0,64 \left(\frac{f}{F} \right)^2 \right] \cdot f \sqrt{\frac{2}{\rho_m} (p_{\text{нк},i} - p_{c,i} + p_{u,i} + \rho_m g h_i)}. \quad (1)$$

Удой молока из соска одной любой четверти за один рабочий цикл может быть определен по выражению:

$$\Delta V_i = Q_i \Delta t_i, \quad (2)$$

где Δt_i – текущая действительная продолжительность истечения молока из соска вымени коровы в течение такта сосания в рабочем цикле, с.

Интенсивность молокоотдачи каждой особи характеризуется кривой молокоотдачи [11], следовательно продолжительность истечения молока Δt_i из соска вымени коровы в течение доения в рабочих циклах будет изменяться. Умножив и разделив правую часть уравнения (2) на время рабочего цикла t_u , получим

$$\Delta V_i = Q_i \frac{\Delta t_i}{t_u} t_u. \quad (3)$$

Физический смысл отношения

$$\frac{\Delta t_i}{t_u} = K_i$$

представляет собой относительное время действительного поступления молока за время каждого рабочего цикла, т.е. действительную долю (кратность) времени извлечения молока за время такта сосания в рабочем цикле. Кратность рабочего цикла K_i определяется путем измерения времени действительного истечения молока в измеряемом сечении. В двухтактных доильных аппаратах кратность рабочего цикла K_i изменяется за время доения в диапазоне от нуля до максимального значения, равного значению доли такта сосания в рабочем цикле.

²Андреевская А.В., Кремкарий И.Н., Панова М.В. Задачник по гидравлике. Изд. второе перераб. М.: Энергия, 1970. 424 с.

Разовый удой отдельной четверти равен сумме дискретных расходов за n рабочих циклов

$$V_j = \sum_1^{n_i} K_i Q_i t_{\text{ц}}, \quad (4)$$

где V_j – объемное количество выдоенного молока отдельной четверти, м^3 .

Число рабочих циклов n_i равно

$$n_i = \frac{T_i}{t_{\text{ц}}},$$

где T_i – продолжительность доения данной четверти, с.

Общий удой от всех четвертей равен

$$V = \sum_1^4 V_j = \sum_1^4 \sum_1^{n_i} K_i Q_i t_{\text{ц}}. \quad (5)$$

Относительные длительности этапов (рис. 2) в среднем по результатам исследований [12] составляют: начальный – 5...10%; основной – 60...70%; заключительный –

20...30%. Начальный, основной и заключительный этапы доения визуально разделены изменением углов наклона ансамблей интегральных удоов на границах этапов. Аппроксимации интегральных графиков удоа коров линейными моделями указывают на наличие весьма тесной связи между удоом и продолжительностью доения на каждом этапе и на всей продолжительности в целом. Например, между удоом и всей продолжительностью доения коэффициент детерминизации составил $R^2 = 0,95$.

Тангенсы углов наклона трендов удоа на каждом этапе представляют собой коэффициенты пропорциональности в соответствующих линейных моделях. Тренд изменения разрежения (рис. 2) в подсосковой камере характеризуется снижением на начальном и первой части основного этапов машинного доения, возрастанием во второй части основного и заключительного этапов, т.е. изменяется зеркально кривой молокоотдачи данной особи.

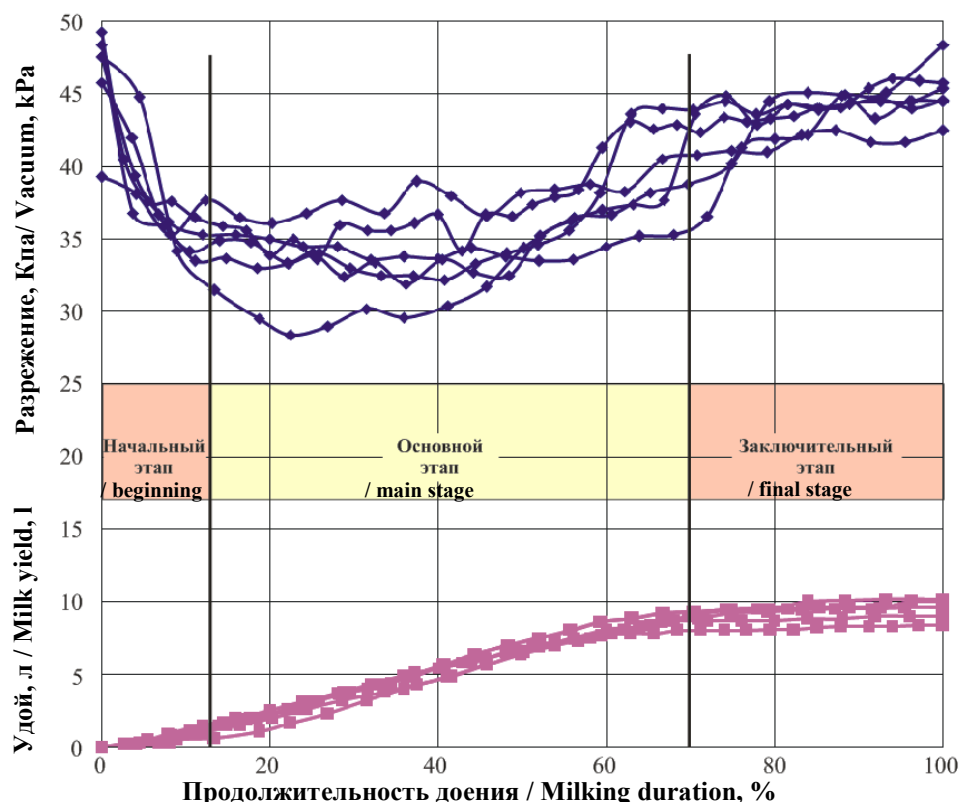


Рис. 2. Влияние продолжительности доения на интегральный удой и величину разрежения в подсосковой камере коллектора

Fig. 2. Influence of milking duration on an integrated milk yield and vacuum intensity in the under-mamillary chamber of the collector

Коэффициенты детерминации взаимосвязи ($R^2 = 0,06...0,15$) между удоем за 12 с и соответствующему ему корню квадратному средней величины разрежения в подсосковых камерах, аппроксимируемых уравнениями первого порядка на всех трех этапах машинного доения, свидетельствуют о слабой их взаимосвязи.

В результате биологической адаптации каждой особи во время машинного доения к режимным параметрам конкретной доильной установки величина удоя за цикл определяется в основном действительной продолжительностью извлечения молока в течение рабочего цикла, а величина разрежения в подсосковой камере в современных доильных установках практически не влияет на текущую величину расхода, т.е. $Q_i \approx \text{const}$. Вследствие этого отпадает необходимость измерения разрежения в подсосковых камерах во время доения с целью определения текущего расхода Q_i для каждого рабочего цикла. Текущий расход Q_i , характеризующий усредненный результат взаимодействия биологических параметров особи (коровы) и вакуумной системы конкретной доильной установки, следует определять в соответствии с величиной разрежения в молокопроводе, усредненными показателями потерь давления на открытие сфинктера канала соска, транспортировку молока и избыточного цистернального

давления в вымени коровы. С учетом обобщений выражение (1) примет вид:

$$Q_i = \mu_c \left[1 + 0,64 \left(\frac{f}{F} \right)^2 \right] f \sqrt{\frac{2}{\rho_m} (p_m - p_c + p_u)}, \quad (6)$$

где p_m – величина разрежения в молокопроводе, Па; $p_c = 33000$ Па [13] – усредненное значение сопротивления сфинктера канала соска совместно с затратами энергии на транспортировку молока; $p_u = 1100$ Па [13] – усредненная величина избыточного цистернального давления.

Расчетные данные и экспериментальные измерения удоя (рис. 3) подтверждают техническую возможность определения дифференцированного учета молока от коровы путем определения времени действительного истечения молока из четверти вымени. Кратность K_i , определенная расчетным путем из выражения (4), изменяется за время доения от нуля до максимального значения $K_{\max} = 51,4\%$ и укладывается в диапазон соотношения тактов (60:40). Кратности K_i , рассчитанной по уравнению (4), присуща высокая неравномерность на протяжении основного этапа доения. Такая неравномерность не соответствует истинной величине относительной продолжительности молокоотдачи в данные моменты времени, так как колебания кратности обусловлены в большей степени технологией регистрации выдоенного молока молокомером МК5.

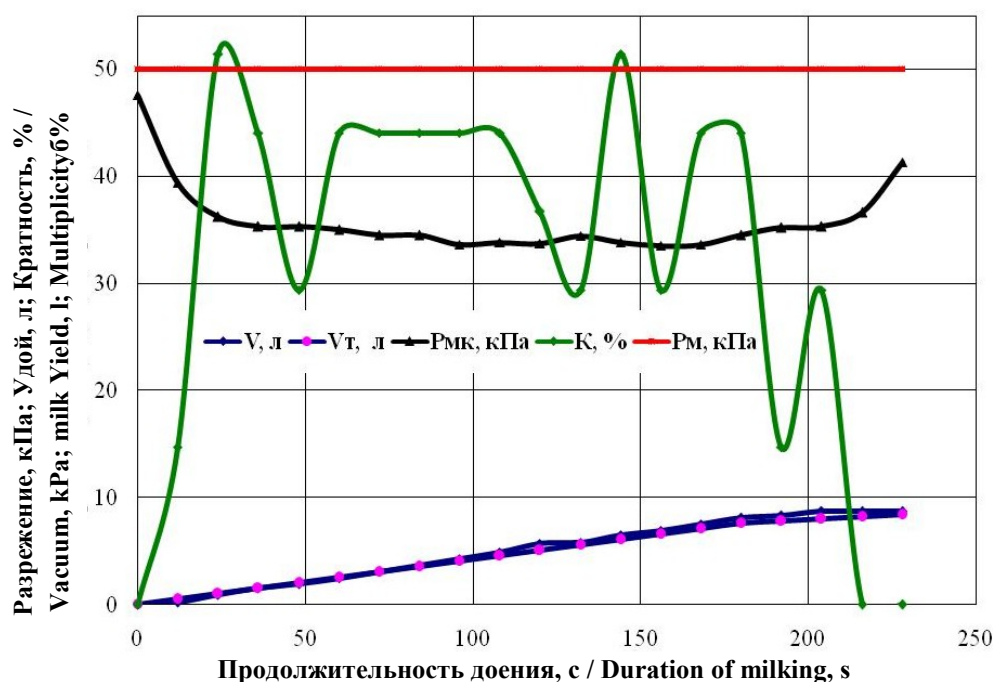


Рис. 3. Изменение показателей режима извлечения молока во время доения
Fig. 3. Change of indexes of the mode of extraction of milk during milking

Молокомер расположен в конце молоко-выводящей линии «вымя-доильный стакан-коллектор-молочный шланг». Сам молокомер снабжен накапливающей ёмкостью для отделения воздушной составляющей потока, поэтому в мензурку молокомера молоко поступает с запаздыванием по времени и дискретными порциями.

Начальный этап, как правило, при условии в полном объеме выполнения подготовительных операций имеет малую (10...15 с) продолжительность [14], поэтому теоретический удой V_T (рис. 3) определен расчетами по выражениям (5) и (6), исходя из среднего значения кратности K для основного и начального этапов машинного доения и отдельно для заключительного (при использовании текущих значений кратности K_i результаты фактического и теоретического удоев полностью совпадут).

Заключение. Расчеты показали, а экспериментальные данные подтвердили принципиальную и техническую возможность

выполнения дифференцированного учета удоя путем измерения продолжительности поступления молока в течение каждого такта сосания от каждой четверти вымени каждой особи. Технически дифференцированный учет удоев может быть реализован путем использования дополнительных блоков измерения действительной продолжительности извлечения молока с интенсивностью выше критической (50 мл/мин), расчета и индикации удоев, интегрированных в устройство почетвертного контроля интенсивности молокоотдачи. Использование доильных аппаратов с функцией дифференцированного учета выдоенного молока позволит определять пригодность коров к машинному доению, минимизировать влияние сухого доения, упростить трудоемкую процедуру контрольных доек, а, в конечном счете, сохранить здоровье, повысить срок продуктивного использования животных, количество и качество выдоенного молока.

Список литературы

1. Исинтиев Т.И. Обеспечение регулирования режимов работы доильного аппарата // Вестник ВНИИМЖ. 2012. №2(6). С. 62-66. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n6.pdf>.
2. Кирсанов В.В., Максutow А.А. Тенденции совершенствования технических средств учета индивидуального надоя молока // Техника в сельском хозяйстве. 1998. №3. С. 19.
3. Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. Разработка счётчика индивидуальных надоев молока удовлетворяющего требованиям международной организации ICAR // Техника и оборудование для села. 2015. № 7. С. 21-23. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_23857064_89654672.pdf.
4. Павкин Д.Ю., Кирсанов В.В. Результаты экспериментальных исследований по совершенствованию счетчика-датчика общего и почетвертного надоя молока // Вестник ВНИИМЖ. 2017. № 4 (28). С. 48-52. Режим доступа: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n28.pdf>.
5. Способ индивидуального учета молока с автоматической коррекцией погрешности определения удоя и устройство для его осуществления: пат. №2044472 РФ / Ю.А. Цой; А.И. Зеленцов; В.В. Кирсанов; А.А. Герасенков (РФ). №5046954/15; Заявлено 09.04.1992; Опубликовано 27.09.1995, Бюл. №38, 2 с. Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5212&DocNumber=2044472&TypeFile=html.
6. Способ измерения расхода молока и устройство для его осуществления: пат. 2093982 РФ / Тильман Хефельмайр; Якоб Майер Юн (ДЕ). №5011377/02; заявл. 26.03.1992; опубл. 27.10.1997, Бюл. №37, 11 с. Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=3095&DocNumber=2093982&TypeFile=html.
7. Устройство для учета молока в молокопроводах животноводческих ферм: пат. № 2444182 РФ / Ф.Г. Марьяхин; А.И. Учеваткин; Б.П. Коршунов; А.Б. Коршунов; В.С. Коптев; А.В. Власов (РФ). № 2010123688/13; заявл. 10.06.10; опубл. 10.03.12, Бюл. № 7, 1 с. Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5748&DocNumber=2444182&TypeFile=html.
8. Доильный аппарат: пат. на полезную модель №154881 РФ / А.А. Рылов, В.Н. Шулятьев, И.Г. Конопельцев (РФ). №2015113650/13; заявл. 13.04.15; опубл. 10.09.15, Бюл. №25, 2 с. Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&rn=2113&DocNumber=154881&TypeFile=html.
9. Ульянов В.М. Вопросы теории машинного доения. Рязань, 2006. 112 с.
10. Андрианов Е.А., Андрианов А.М., Андрианов А.А. Совершенствование доильных аппаратов непрерывного действия // Вестник Воронежского ГАУ. 2013. №4 (39). С. 84-94. Режим доступа: http://vestnik.vsu.ru/wp-content/uploads/2014/12/2013_4-39.pdf.
11. Соловьев С.А., Карташов Л.П. Исполнительные механизмы системы «человек-машина-животное». Екатеринбург: УРОАН, 2001. 179 с.
12. Шулятьев В.Н., Рылов А.А. Машинное доение коров (Привязное содержание): монография, Киров: ООО ЛОБАНЬ, 2017. 198 с.

13. Кирсанов В.В. Структурно-технологическое обоснование эффективности построения и функционирования доильного оборудования. Княгинино: НГИЭИ, 2012. 396 с.

14. Шулятьев В.Н., Рылов А.А., Сайтов А.В. Исследование вакуумного режима процесса извлечения молока двухтактными доильными аппаратами в верхний молокопровод при привязном содержании // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Матер. X-й Междунар. науч.- практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение». Киров: Вятская ГСХА, 2017. Вып. 18. С. 315-319.

Поступила: 23.10.2018

Принята к публикации: 12.02.2019

Сведения об авторах:

Рылов Александр Аркадьевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры технологического и энергетического оборудования ФГБОУ ВО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия", Октябрьский пр-кт, 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8431-1521>, e-mail: k-consultant@yandex.ru,

Савиных Петр Алексеевич, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией механизации животноводства ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fancsv.ru, профессор кафедры технологического и энергетического оборудования ФГБОУ ВО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия", Октябрьский просп., 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, e-mail: Peter.savinyh@mail.ru,

Шулятьев Валерий Николаевич, доктор техн. наук, профессор кафедры технологического и энергетического оборудования ФГБОУ ВО "Вятская государственная сельскохозяйственная академия", Октябрьский пр-кт, 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, e-mail: Shulyatev.Valeriy@mail.ru.

References

1. Isintiev T.I. *Obespechenie regulirovaniya rezhimov raboty do-il'nogo apparata*. [Ensuring regulation of operating modes of the milking machine]. *Vestnik VNIIMZh*. 2012. no. 2(6). pp. 62-66. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n6.pdf>

2. Kirsanov V.V., Maksutov A.A. *Tendentsii sovershenstvovaniya tekhnicheskikh sredstv ucheta individual'nogo nadoya moloka*. [Trends of improvement of technical means for individual milk recording]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1998. no. 3. pp. 19. (In Russ.).

3. Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu. *Razrabotka schetchika individual'nykh nadoev moloka udovletvoryayushchego trebovaniyam mezhduna-rodnoy organizatsii ICAR*. [Development of the counter of individual milk yield meeting the requirements of the international organization ICAR]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2015. no. 7. pp. 21-23. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_23857064_89654672.pdf.

4. Pavkin D.Yu., Kirsanov V.V. *Rezultaty eksperimental'nykh i-sledovaniy po sovershenstvovaniyu schetchika-datchika obshchego i pochetvertnogo nadoya moloka*. [Results of pilot studies on improvement of the counter sensor of the general and separately on quarters milk yield]. *Vestnik VNIIMZh*. 2017. no. 4 (28). pp. 48-52. (In Russ.). URL: <http://www.vniimzh.ru/images/material/Magazines/n28.pdf>.

5. Tsoy Yu.A., Zelentsov A.I., Kirsanov V.V., Gerasenkov A.A. *Sposob individual'nogo ucheta moloka s avtomaticheskoy korrektsiey pogreshnosti opredeleniya udoya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya*. [A way of individual recording of milk with automatic correction of an error of milk yield definition and the device for its implementation]. Patent RF, no. 2044472, 1995. (In Russ.). URL: [at:http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5212&DocNumber=2044472&TypeFile=html](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5212&DocNumber=2044472&TypeFile=html).

6. Til'man Khfel'mayr; Yakob Mayer *Yun Sposob izmereniya raskhoda moloka i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya*. [A way of measurement of flow rate of milk and the device for its implementation: patent]. Patent RF, no. 2093982, 1997. (In Russ.). URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=3095&DocNumber=2093982&TypeFile=html.

7. Mar'yakhin F.G., Uchevatkin A.I., Korshunov B.P., Korshunov A.B., Koptev V.S., Vlasov A.V. *Ustroystvo dlya ucheta moloka v molokoprovodakh zhivotnovodcheskikh ferm*. [The device for milk recording in milk line of livestock farms: patent]. Patent RF. № 2444182, 2012. (In Russ.). URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5748&DocNumber=2444182&TypeFile=html.

8. Rylov A.A., Shulyat'ev V.N., Konopeltsev I.G. *Doil'nyy apparat*. [Milking machine]. Patent RF. no.154881, 2015. (In Russ.). URL: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&rn=2113&DocNumber=154881&TypeFile=html.

9. Ul'yanov V.M. *Voprosy teorii mashinnogo doeniya. Ryazan'*. [Questions of the theory of machine milking]. 2006. 112 p. (In Russ.).

10. Andrianov E.A., Andrianov A.M., Andrianov A.A. *Sovershenstvovanie doil'nykh apparatov nepreryvnogo deystviya*. [Operating mechanism of continuous action]. *Vestnik Voronezhskogo GAU*. 2013. no. 4 (39). pp. 84-94. (In Russ.). URL: http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2014/12/2013_4-39.pdf.
11. Solov'ev S.A., Kartashov L.P. *Ispolnitel'nye mekhanizmy sistemy «chelovek-mashina-zhivotnoe»*. [Operating mechanism of the «person-car-animal» system]. Ekaterinburg: *UrORAN*, 2001. 179 p. (In Russ.).
12. Shulyat'ev V.N., Rylov A.A. *Mashinnoe doenie korov (Privyaznoe sodержanie): monografiya*. [Machine milking of cows (Tie-up housing): monograph]. Kirov: *ООО LOBAN'*. 2017. 198 p. (In Russ.).
13. Kirsanov V.V. *Strukturno-tekhnologicheskoe obosnovanie effektivnosti postroeniya i funktsionirovaniya doil'nogo oborudovaniya*. [Structural and technological substantiation of efficiency of construction and functioning of the milking equipment]. Knyaginino: *NGIEI*, 2012. 396 p. (In Russ.).
14. Shulyat'ev V.N., Rylov A.A., Saitov A.V. *Issledovanie vakuumnogo rezhima protsessa izvlecheniya moloka dvukhtaktnymi doil'nymi apparatami v verkhniy molokoprovod pri privyaznom sodержanii*. [A research of a vacuum mode of the process of milk extraction by duple milking machines in the top milk line at tie-up housing]. *Uluchshenie ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki: Mater. Kh-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - «Nauka-Tekhnologiya-Resursoberezhenie»*. [Improvement of operational indicators of an agricultural power engineering: Proceedings of the 10 International scientific and practical Science-Technology- Resource-saving conference]. Kirov: *Vyatskaya GSKhA*, 2017. Iss. 18. pp. 315-319. (In Russ.).

Received: 23.10.2018

Accepted for publication: 12.02.2019

Information about the authors:

Alexander A. Rylov, Ph.D. (Engineering), associate professor in cathedra of technological and energetic tools Vyatka State Agricultural Academy, Russia, Kirov, Oktyabrsky Avenue, 133,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8431-1521>, e-mail: k-consultant@yandex.ru,

Peter A. Savinykh, Dr.Sci. (Engineering), chief researcher, head of the laboratory of mechanization of livestock production Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky Kirov, Russia, Lenin St., 166a, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, professor in cathedra of technological and energetic tools Vyatka State Agricultural Academy, Russia, Kirov, Oktyabrsky Avenue, 133,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5668-8479>, e-mail: Peter.savinyh@mail.ru,

Valery N. Shulyatiev, Dr.Sci. (Engineering), professor in cathedra of technological and energetic tools Vyatka State Agricultural Academy, Russia, Kirov, Oktyabrsky Avenue, 133,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5686-863X>, e-mail: Shulyatev.Valeriy@mail.ru.

BIOGAS PRODUCTION AS AN ELEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS IN EU AND POLAND*

© 2019. Witold Jan Wardal, Jan Barwicki, Kinga Borek, Kamila Mazur

Institute of Technology and Life Sciences in Falenty, Branch in Warsaw, Poland

The article is devoted to the issue of sustainable rural development, with particular focus on biogas. It presents legal regulations in this area used in the European Union, including Poland. Additionally, the article provides the results of operational tests (conducted in 2011-2012) of a small biogas plant with total capacity of two reactors 411 m³. The cost of electricity production was on the level of 113.76 PLN·MWh⁻¹ and heat production costs - 206.06 PLN·MWh⁻¹. The construction cost of biogas plant was equal 1100 PLN per cubic meter. The exploitation costs of biogas plant were 42450 PLN·year⁻¹ as the cumulative costs: the annual cost of installation maintaining 27 000 PLN·year⁻¹ and cost of use of the biogas plant was 5450 PLN·year⁻¹. The calculated profit from the sale of produced electricity was 100622 PLN·year⁻¹. The calculation has been prepared in accordance with the level of prices in Poland in the years 2011-2012.

Key words: sustainable development, RES (renewable energy sources), rural areas, biogas

For citation: Witold Jan Wardal, Jan Barwicki, Kinga Borek, Kamila Mazur. Biogas production as an element of sustainable development of rural areas in EU and Poland. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):76-83. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.76-83.

Производство биогаза как элемент устойчивого развития сельских территорий в ЕС и Польше

© 2019. Витольд Ян Вардал*, Ян Барвицкий, Кинга Борек, Камила Мазур

Технологическо-природоведческий институт Фаленты, г. Варшава, Республика Польша

Статья посвящена проблеме устойчивого развития сельских территорий, при этом особое внимание уделяется роли биогаза. Представлены правовые нормы в этой сфере, принятые в Европейском Союзе, включая Польшу. Кроме того, статья содержит результаты проведенных в 2011-2012 годах производственных испытаний небольшой установки для получения биогаза общей емкостью двух реакторов 411 м³. Стоимость производства одного мегаватт-часа электрической энергии была на уровне 113,76 польских злотых, а стоимость выработки тепловой энергии – 206,06 польских злотых. Удельные затраты на монтаж биогазовой установки составили 1100 польских злотых/м³ биогаза. Эксплуатационные расходы данной установки составили 42450 польских злотых в год, в том числе затраты на техническое обслуживание установки – 27000 польских злотых и стоимость эксплуатации установки 5450 польских злотых. Расчетная прибыль от продажи выработанной электрической энергии составила 100622 польских злотых в год. Расчеты были проведены в соответствии с уровнем цен в Польше на 2011-2012 годы.

Ключевые слова: устойчивое развитие, ВИЭ (возобновляемые источники энергии), сельские территории, биогаз

Для цитирования: Witold Jan Wardal, Jan Barwicki, Kinga Borek, Kamila Mazur. Производство биогаза как элемент устойчивого развития сельских территорий в ЕС и Польше. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019; 20(1):76-83. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.76-83.

Sustainable development is the socio-economic development, in which political, economic and social activities are integrated, which preserves the natural balance and permanence of basic natural processes in order to guarantee the possibility of satisfying the basic needs of individual communities or citizens in both the present generation and future generations¹.

The idea of sustainable development requires: 1) global environmental protection; 2) solidarity in relations between countries, especially between rich and poor ones, and solidarity with

future generations; 3) treatment of economic, political, social and environmental factors as dependent on each other.

The term "sustainable development" was introduced and defined in 1987 by G. Brundtland in the report "Our Common Future" by the World Commission on Environment and Development. The concept of sustainable development is clarified by two documents adopted in 1992 at the UN Conference "Environment and Development" in Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development and Agenda 21 (Earth Summit Conference).

* Опубликовано по материалам доклада на Международной научной конференции «Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства» (г. Киров, 2018 г.).

¹Environmental Protection Law, 2001. PL: Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627.

The first document contains 27 principles defining the rights and obligations of the signatory countries in pursuit of sustainable development, the second consisting of 4 parts (specific social and economic, natural resource conservation and management, strengthening the role of major groups and organizations, ways of achieving development sustainability) is an extension of the Declaration and makes recommendations to states and organizations on specific issues that must be resolved in the implementation of sustainable development (among others: the fight against poverty, demographic dynamics, protection of the human health, environmental protection, management of the Earth's surface, wastes management).

These documents are the basis of international legal instruments, global and regional (cross-border) setting out the strategy of sustainable development in a given location (country, region, sector, institution). Feasibility of sustainable development depends on the situation and the level of development of individual countries and regions of the world. To assess the degree of implementation of sustainable development projects or compliance with the principles of sustainable development are both quantitative and qualitative measures of sustainable development, different from the existing and traditional (used for example for statistical purposes) or assessments of economic indicators and environmental standards.

Polish and EU actions for the sustainable development. Since 1993, when the European Union adopted a V Program for Environmental Protection and Sustainable Development in the EU member states, a number of programs of sustainable development (for all countries, municipalities, businesses and others) have appeared. In 1998 the Council of Baltic Sea States adopted the Agenda Baltic 21, covering 7 sectors of key importance for the sustainable development of the region: agriculture, energy, fisheries, forestry, industry, tourism and transport. The initiative is supported by: Union of the Baltic Cities and the Baltic Local Agenda 21 Forum. In 2000 eleven education ministers of the Baltic states adopted The Hague Declaration - Agenda 21 on education for sustainable development in the Baltic Sea Region. In 2001 the European Commission presented a Communication "A Sustainable Europe for a Better World: A strategy for the sustainable development of the European Union", containing a list of the main threats to the sustainable development of European societies, among others: global warming caused by emissions of green-

house gases; multigenerational poverty; marginalization and exclusion of certain social groups; aging of population; dramatic rise of biodiversity loss; rapid increase in the quantity of waste; destruction of soils; traffic congestion. On the basis of this document, in 2001 in Gothenburg the Council of Europe adopted EU strategy for sustainable development. In 2002 the "Earth Summit" conference in Johannesburg rated the achievements in implementing the principles of sustainable development and the adoption of a declaration which is the obligation of States to comply with them with particular attention to the situation in developing countries. In 2004 the European Commission presented a Communication "Stimulating of Technologies for Sustainable Development: European Union action plan on environmental technologies" [1].

Europe Agreements of 1991 fixing Polish association with the European Communities, contain a provision (Article 71, paragraph 2) that the execution policy of economic and social development of Poland should be guided by the principle of sustainable development. Since 1993 Poland cooperates with the United Nations Commission on Sustainable Development and submits its annual reports on the implementation of Agenda 21. The Law on Spatial Development (1994) recognized sustainable development as the basis "of actions in matters of destination sites for specific purposes and establish rules for their development".

The principle of sustainable development was also recorded in the Constitution of 1997 (Article 5). In 2000 the Parliament adopted, and the Polish government decided to launch the document "Long-term Strategy for Sustainable Development - Poland 2025". On the 27th of April 2001 Environmental Protection Law was passed, it defined the principles of the environment protection and conditions for the use of its resources, taking into account the requirements of sustainable development (Article 3, paragraph 50 introduced Polish-language official definition of sustainable development). In September 2002 the Prime Minister's Office established a Council for Sustainable Development.

The Law of 27 III 2003 for planning and spatial development adopted sustainable development (in addition to spatial order) as a basis: 1) spatial policy by local authorities and government bodies; 2) proceedings in cases of destination areas for specific purposes and establishing rules for land and buildings use on these sites².

²Planning and Spatial Development Law, 2003. [Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Dz.U. 2003 Nr 80 poz. 717].

The idea of sustainable development can be presented as an evolution of the idea of progress, from technocratic conceived economic growth (production, consumption, technical progress), through sustainable development (development planned and implemented taking into account the possibilities and environmental effects) to contemporary multidisciplinary and humanitarian concept (Universal Declaration of Human Rights), where the subject is the human person, and especially his right to a healthy and productive life in harmony with nature, the well-being of the global community of people of intergenerational justice, self-realization. Sustainable development can be seen as an alternative to globalization.

The concept of sustainable development in Polish law is defined in the Environment Protection Law of the 27th of April 2001 (Art. 3 pt. 50). It means the socio-economic development in which political, economic and social activities are integrated, preserving the natural balance and permanence of basic natural processes in order to guarantee the possibility of satisfying the basic needs of individual communities or citizens in both the present generation and future generations [1].

Directive 2009/28/EC³ of the European Parliament and of the Council (23 April 2009) on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, called the Renewable Energy Directive, establishes an overall policy for the production and promotion of energy from renewable sources in the EU. It requires the EU to fulfil at least 20% of its total energy needs with renewables by 2020 – to be achieved through the achievement of individual national targets. All EU countries must also ensure that at least 10% of their transport fuels will have come from renewable sources by 2020.

Cooperation mechanisms in eu for sustainable development. The Directive promotes cooperation amongst EU countries (and with countries outside the EU) to help them meet their renewable energy targets. This cooperation can take the form of:

- statistical transfers of renewable energy;
- joint renewable energy projects;
- joint renewable energy support schemes.

Biofuels and bioliquids are instrumental in helping EU countries meet their 10% renewables target in transport. The Renewable Energy Directive sets out biofuels sustainability criteria for all biofuels produced or consumed in the EU to

ensure that they are produced in a sustainable and environmentally friendly manner.

Companies can show they comply with the sustainability criteria through national systems or so-called voluntary schemes recognized by the European Commission.

The Renewable Energy Directive 2009/28/EC³ prompts the Commission to report on requirements for a sustainability scheme for energy uses of biomass and biogas other than biofuels and bioliquids, and to provide analysis on biofuel sustainability with respect to indirect land use change (ILUC). The ILUC corresponds to the carbon stock release from the conversion of natural land such as rainforest or grassland into cropland that can result from an increased production of biofuels/bioenergy in Europe. For the transport sector, the current sustainability criteria aim at ensuring minimum greenhouse gas (GHG) savings when compared to fossil fuels as well as defining land criteria, e.g. avoid high biodiversity areas for raw material production. In October 2012, the Commission additionally introduced a proposal to further minimize the climate impact of biofuel production, including a 5% cap on 1st generation biofuels (crop-based) and reporting requirements on estimated ILUC emissions.

Biogas can be produced from a variety of feedstock and used for different purposes: electricity, heat and transport. Thus, the sustainability schemes for biomass and the GHG calculation of biogas pathways would need to take this into consideration. For instance, anaerobic digestion of manure greatly reduces the amount of methane that would otherwise be released into the atmosphere and therefore enable significant GHG savings. Biogas production also closes the nutrient cycle when the produced digestate is an excellent bio-fertilizer, replaces and thereby prevents the CO₂ emissions from the production and use of mineral fertilizer. As for biofuels, the co-digestion of energy crops and manure has proved to be the most energy-efficient: one hectare of land used for biomethane production allows a longer running distance than with any other biofuel.

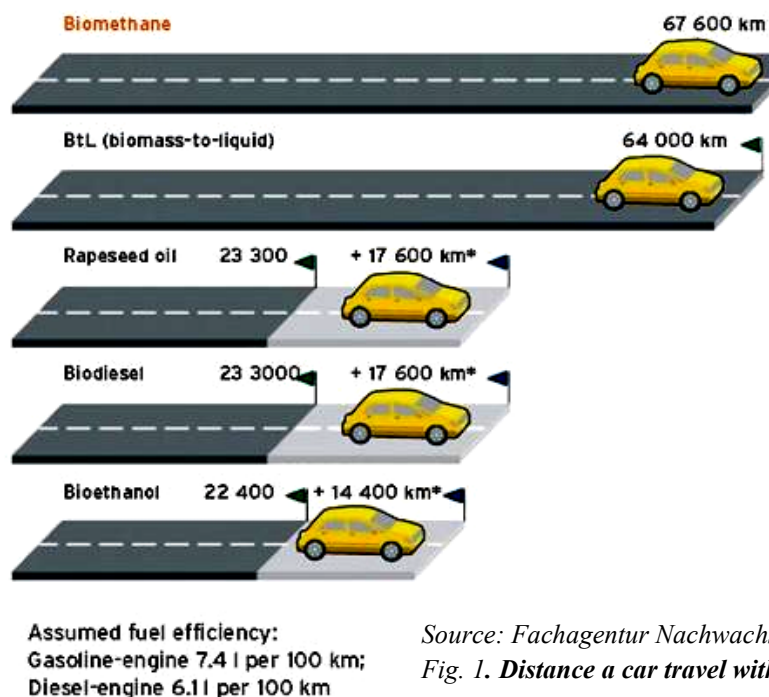
The Waste Framework Directive 2008/98/EC⁴ entitles the European Commission to set criteria under which certain specified waste shall cease to be waste. This mechanism was introduced to further encourage recycling in the EU by creating legal certainty and a level playing field as well as removing unnecessary administrative burdens. The Joint Research Centre of the

³Renewable Energy Directive 2009/28/EC.

⁴Waste Framework Directive 2008/98/EC.

Commission will conduct a study on the material prepared by experts to compile technical proposals for the end of waste criteria. This work will be accompanied by a technical working group with experts from Member States, relevant indus-

try and other stakeholders including EBA. Digestate is an excellent organic fertilizer which contains nearly all nutrients from used feedstock. The EU wants to become sustainable and independent from foreign raw materials.



Source: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Fig. 1. Distance a car travel with biofuels from 1 hectare of cropland

Economic aspects of energy production from renewable sources. The EC proposal published on 13 April 2011 aims to revise the Energy Taxation Directive 2003/96/EC⁵, which introduced a tax for energy products at EU level. This current energy tax, in the EC proposal, is split into an energy consumption tax (min rate = €9,6/GJ for motor fuels, and €0,15/GJ for heating fuels) and a CO₂ tax (€20 per ton of CO₂). At the moment renewables are taxed (mainly based on volume) at the same rate as the energy sources they are intended to be replaced, i.e. biodiesel is taxed at the same rate as diesel. Due to the taxation based on volume rather than energy content, products with lower energy content, particularly liquid biofuels, carry a heavier tax burden compared to the fuels they are competing with.

In 2009 the EU-27 emitted more than 4,600 million tons of CO₂. Roughly half of EU emissions are already covered by the Emissions Trading Scheme (ETS) for plants above 20 MW. The EC proposal to revise the Energy Taxation Directive aims to cover the other half of CO₂ emissions by introducing a carbon tax for energy applications below 20 MW. However, the proposed

revision would unfairly weaken the use of biogas in the transport sector since the CO₂ tax in this sector weighs only around 10%. Therefore, biogas will bear, in spite of the CO₂ tax exemption guaranteed for biogas, a tax that is almost equivalent to the overall tax for one of the fossil fuels, i.e. natural gas. On April 19th, 2012, the Members of the European Parliament voted 374-217, with 73 abstentions against the proposal. Rapporteur MEP Lulling from Luxembourg argued that the revised Directive would have a direct social impact due to higher prices for coal, natural gas, heating oil and diesel oil. As far as taxes are concerned, the Parliament has however no decision power in the legislative procedure; it is merely consulted. The decision is up to the Council and thus to the Member States. EBA keeps its members up-to date on the progress within the Council.

The member states of the European Union, including Poland, have set up special institutions to coordinate activities in the field of renewable energy sources, especially for development of sustainable technologies and knowledge in the field of energy efficiency, enabling industrial processes to be used more efficiently. The European

⁵Energy Taxation Directive 2003/96/EC.

Energy Efficiency Directive aims to achieve energy savings of 20 percent in 2020 in Europe. For each member state this objective is translated into a national objective (for example the target for the Netherlands amounts to a cumulative energy saving in final consumption of 480 PJ in the period of 2014-2020).

To be able to meet these targets, innovations in energy efficiency are necessary, with taking into account the following aspects: research and technology, strategy and advice, products and services, implementation of international projects. For implementation of these solutions, every works must be coordinated closely with suppliers of raw materials, equipment manufacturers, contractors, engineering companies, machine manufacturers, installation contractors and a range of major end users.

Technological innovations can help investors to make process more energy efficient, with reduced energy consumption and lower operating costs. Modern methods for realization this purpose should contain:

- Developing more efficient separation processes of by-products.
- Reducing undesirable by-products.
- Improving final product yield and quality.
- Switching to sustainable products.

The works of research centers on generating energy from renewable sources, especially biogas (biomethane) are focused on:

- using heat technology to reduce energy costs (energy efficiency research to develop technologies and services for heat pumps and heat integration and storage. These technologies reduce the demand for heat and produce, enabling to use less energy, leading to lower energy costs and reduced carbon emissions;
- using process technology to improve operating processes;
- separation processes;
- biogas treating and upgrading for biomethane (developing of technology for various scale of production);
- intensifying chemical processes (combining process steps and reduce the scale of processes, resulting in more compact and efficient plants and systems;
- CO₂ capture.

Residues from preparation and processing of animal food products. The use of animals for slaughter indicates that remains for utilization account for 27% of their weight. In Poland, col-

lected residues from preparation and processing of animal food products consist mainly of swine remains (62%), poultry remains (13%), feathers (13%) and blood (10%). Since 1997, these remains cannot be used in form of meat-and-bone meal in feeding animals for slaughter. Therefore, their use for energy production is highly recommended and possible (e.g. in biogas plants). Animal fat is one of the most valuable remains from processing. In general, in the Polish market there is a deficit of animal fat in food production and this valuable group of products cannot be considered meaningful as components of energy biomass. Consequently, waste fats (not used for food purposes), related to utilization of animal waste in high temperature, could be used for energy production. The volume of waste fat produced in such way in Poland is estimated at about 80-100 thousand cubic meters.

Directive 2009/28/EC³ of The European Parliament and of The Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, stated that the use of agricultural material such as manure, slurry and other animal and organic waste for biogas production has, in view of the high greenhouse gas emission saving potential, significant environmental advantages in terms of heat and power production and its use as biofuel. Biogas installations can, as a result of their decentralized nature and the regional investment structure, contribute significantly to sustainable development in rural areas and offer farmers new income opportunities.

Reduction of greenhouse gas emissions. Rules for calculating the greenhouse gas impact of biofuels, bioliquids and their fossil fuel comparators are given below (tab. 1).

Research works of the institute of technology and life sciences. The answer to the growing demand for expertise in the area of biogas can be found in publications of various research institutes and technical centers, including The Institute of Technology and Life Science, Branch in Warsaw and Poznan [3, 4, 5, 6, 7].

Objective of the studies and methodology. The aim of the study was to present the technical and economic aspects of biogas production from agricultural sources including Polish conditions, having an impact on implementation of the Directive 2009/28/EC³ of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources.

Table 1

Typical and default values for biofuels if produced with no net carbon emissions from land-use change, %

Biofuel production pathway	Greenhouse gas emission saving	
	typical	default
Sugar beet ethanol	61	52
Wheat ethanol (process fuel not specified)	32	16
Wheat ethanol (lignite as process fuel in CHP plant)	32	16
Wheat ethanol (natural gas as process fuel in conventional boiler)	45	34
Wheat ethanol (natural gas as process fuel in CHP plant)	53	47
Wheat ethanol (straw as process fuel in CHP plant)	69	69
Corn (maize) ethanol, Community produced (natural gas as process fuel in CHP plant)	56	49
Sugar cane ethanol	71	71
The part from renewable sources of ethyl-tertiary-butyl-ether (ETBE)	Equal to that of the ethanol production pathway used	
The part from renewable sources of tertiary-amyl-ethyl-ether (TAAE)		
Rape seed biodiesel	45	38
Sunflower biodiesel	58	51
Soybean biodiesel	40	31
Palm oil biodiesel (process not specified)	36	19
Palm oil biodiesel (process with methane capture at oil mill)	62	56
Waste vegetable or animal oil biodiesel	88	83
Hydrotreated vegetable oil from rape seed	51	47
Hydrotreated vegetable oil from sunflower	65	62
Hydrotreated vegetable oil from palm oil (process not specified)	40	26
Hydrotreated vegetable oil from palm oil (process with methane capture at oil mill)	68	65
Pure vegetable oil from rape seed	58	57
Biogas from municipal organic waste as compressed natural gas	80	73
Biogas from wet manure as compressed natural gas	84	81
Biogas from dry manure as compressed natural gas	86	82

Source: Directive 2009/28/EC³

The scope of work included: the analysis of biochemical and technical problems of biogas production; the development of renewable energy resources in Poland (especially the study of the increase of biogas stations number); the economic balance of biogas station.

Investigations of agricultural biogas plant located at private farm in Studzionka village (Lubusz voivodeship) were done according to the methodology of the Institute of Technology and Life Sciences presented by Romaniuk et al. [3, 5].

The total exploitation costs (C_e) was specified according to the formula No. (1) - [3, 5]:

$$C_e = C_{main} + C_{use}; (\text{PLN} \cdot \text{year}^{-1}), \quad (1)$$

where C_{main} – the annual cost of installation maintaining, ($\text{PLN} \cdot \text{year}^{-1}$); C_{use} – cost of use of the biogas plant, ($\text{PLN} \cdot \text{year}^{-1}$).

Unit exploitation cost C_{ej} is equal:

$$C_{ej} = \frac{C_{main} + C_{use}}{V}; (\text{PLN} \cdot \text{m}^{-3}), \quad (2)$$

where V – amount of produced biogas in normal conditions, ($\text{m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$).

Biogas station research was carried out in the period of 2011-2012. Costs and profits were given according to 2011-2012 prices.

Results of ITP investigations of biogas plant. Investigations of agricultural biogas plant were done according to the methodology of the Institute of Technology and Life Sciences presented in the work: “The method of assessment

of agricultural biogas plants” [3]. Biogas station research was carried out in 2011-2012 and is presented below (Tab. 2). Costs and profits were given according to 2011-2012 prices.

Table 2

Results obtained during the study of biogas plants in Studzionka village (Lubusz Voivodeship)

<i>Parameters and results</i>	<i>Units</i>	<i>Values</i>
Number of fermentation chambers	-	2
Total capacity of fermentation chambers of biogas plant	m ³	410
Investment cost of the whole installation	PLN	450 000
The cost of building - 1 m ³ of biogas plant	PLN	1 100
The amount of biogas produced per year	m ³	112 000
Calorific value of biogas	MJ·m ⁻³	20.75
The amount of electric energy produced from biogas	MWh·year ⁻¹	212
The amount of heat produced from biogas	MWh·year ⁻¹	246
The potential profit from the sale of produced electricity	PLN·year ⁻¹	100 622
The market price of energy sold to the grid	PLN·MWh ⁻¹	197.72
The market price of green certificates of origin	PLN·MWh ⁻¹	273.73
The annual cost of maintaining installation C _{main}	PLN·year ⁻¹	27 000
Cost of use of the biogas plant C _{use}	PLN·year ⁻¹	15 450
The exploitation costs of biogas plant C _e	PLN·year ⁻¹	42 450
The cost of electricity production in the installation	PLN·MWh ⁻¹	86.2
The cost of heat production in the installation (the calculation does not take into account 30% of the heat that is used to the biogas plant heating)	PLN·MWh ⁻¹	156.13
Annual use of slurry and poultry manure for biogas production	t	1058.5
The cost of raw material	PLN·t ⁻¹	10
Annual cost of raw material	PLN	10 585
The cost of electricity production	PLN·MWh ⁻¹	113.76
The cost of heat production	PLN·MWh ⁻¹	206.06

Conclusions. As global demand for energy continues to rise, the transition to sustainable energy cannot be put off any longer. Natural resources and fossil fuel reserves are becoming depleted and water shortages are an ever-more frequent occurrence. Our climate is changing and biodiversity is declining, while huge increase in world energy consumption is reflected in a corresponding increase in CO₂ emissions and pollution by other greenhouse gases. Sustainable energy, including renewable energy technology and energy efficiency, is the prime key to solving international issues concerning climate change and fossil fuel depletion.

Based on the bibliography study and the research which was carried out, the following conclusions have been presented:

- National policies have the greatest influence on the development of renewable energy production in different countries of the European Union.
- Use of agricultural biogas is dependent on many factors specific to location of each installation (distance from the grid, general and local demand for a particular source of energy).
- Biogas plants are the objects of stable energy when properly correspond with the technological regime. They have constant electrical

performance and can be built to meet the demand for electricity.

– In Poland to build both agricultural biogas plants below 100 kW and much larger installations is warranted. The final investment decision should result from a comprehensive account of the opportunities and needs.

– Operational tests of small biogas plant with total capacity of the two reactors 411 m³ conducted in 2011-2012 have enabled to deter-

mine the actual cost of electricity production - 113.76 PLN·MWh⁻¹ and heat production costs - 206.06 PLN·MWh⁻¹. The cost of building 1 m³ of biogas plant in the economic way was 1100 PLN. The exploitation costs of biogas plant were 42 450 PLN·year⁻¹ as the cumulative costs: the annual cost of installation maintaining 27 000 PLN·year⁻¹ and cost of use of the biogas plant was 5450 PLN·year⁻¹.

– The calculated profit from the sale of produced electricity was 100 622 PLN·year⁻¹.

References

1. Myller R. Report on the communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Stimulating Technologies for Sustainable Development: An Environmental Technologies Action Plan for the European Union. Committee on the Environment, Public Health and Food Safety. 11 May 2005. 2004/2131(INI).
2. Czarski E. Sustainable Development Indicators for Poland. GUS Katowice, 2011. p. 195.
3. Romaniuk W., Głaszczka A., Domasiewicz T., Biskupska K., Barwicki J. *Metoda oceny biogazowni rolniczych*. [The method of assessment of agricultural biogas plants]. Romaniuk W. (Red.). *Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE. Monografia*. Wydawnictwo ITP Falenty, 2011. pp. 108-114.
4. Romaniuk, W., Biskupska, K. *Rozwiązania instalacji biogazowych dla gospodarstw rodzinnych*. [Solutions of biogas plants for family farms]. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. 2012. no. 2(76). pp. 149-159.
5. Romaniuk W., Głaszczka A., Biskupska K. *Analiza rozwiązań instalacji biogazowych dla gospodarstw rodzinnych i farmerskich. Monografia*. [The analysis of of biogas plants for family farms and farmhouses. A monograph]. Wydawnictwo ITP, 2012. 104 p. ISBN 978-83-62416-53-0.
6. Głaszczka A., Wardal W., Romaniuk W., Domasiewicz T. *Biogazownie rolnicze*. [Agricultural biogas stations] Oficyna Wydawnicza Multico. Warszawa, 2010. 76 p. ISBN 978-83-7073-432-9.
7. Myczko A., Myczko R., Kołodziejczyk T., Golimowska R., Lenarczyk J., Janas Z., Kliber A., Karłowski J., Dolska M. *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*. [Construction and operation of biogas plants. Guidance for investors interested in building biogas plants]. Wydawnictwo ITP Falenty, 2011. 142 p. ISBN 978-83-62416-23-3.

Received: 22.11.2018

Accepted for publication: 19.02.2019

Information about the authors:

Witold Jan Wardal, PhD in Engineering Institute of Technology and Life Sciences in Falenty, Branch in Warsaw, Rakowiecka 32, Warszawa, Poland, 02-532, e-mail: w.wardal@itp.edu.pl,

Jan Barwicki, PhD in Engineering Institute of Technology and Life Sciences in Falenty, Branch in Warsaw, Rakowiecka 32, Warszawa, Poland, 02-532, e-mail: j.barwicki@itp.edu.pl,

Kinga Borek, M.Sc. Engineering, Institute of Technology and Life Sciences in Falenty, Branch in Warsaw, Rakowiecka 32, Warszawa, Poland, 02-532, e-mail: k.borek@itp.edu.pl,

Kamila Mazur, PhD in Engineering Institute of Technology and Life Sciences in Falenty, Branch in Warsaw, Rakowiecka 32, Warszawa, Poland, 02-532, e-mail: k.mazur@itp.edu.pl.

Поступила: 22.11.2018

Принята к публикации: 19.02.2019

Сведения об авторах:

Витольд Ян Вардал, кандидат техн. наук Института технологии и наук о жизни в Фаленти, филиал в Варшаве, Раковецка, 32, Варшава, Польша, 02-532, e-mail: w.wardal@itp.edu.pl,

Ян Барвицкий, кандидат техн. наук Института технологии и наук о жизни в Фаленти, филиал в Варшаве, Раковецка, 32, Варшава, Польша, 02-532, e-mail: j.barwicki@itp.edu.pl,

Кинга Борек, магистр инженерных наук Института технологии и наук о жизни в Фаленти, филиал в Варшаве, Раковецка, 32, Варшава, Польша, 02-532, e-mail: k.borek@itp.edu.pl,

Камила Мазур, кандидат техн. наук Института технологии и наук о жизни в Фаленти, филиал в Варшаве, Раковецка, 32, Варшава, Польша, 02-532, e-mail: k.mazur@itp.edu.pl.

УДК 519.85:338.436.33

doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.84-91

Цифровизация машинной технологии уборки лука искусственными нейронными сетями*

© 2019. А.В. Сибирёв, А.С. Дорохов, А.Г. Аксенов

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

Решение задачи прогнозирования качественных показателей работы машины для уборки лука осуществляли с использованием методологии системного анализа и синтеза, физического моделирования, основанных на теории искусственных нейронных сетей. Анализ математической модели процесса работы машины для уборки лука позволяет констатировать, что повышение качественных показателей уборки лука возможно обеспечить оптимальным соотношением внутренних нерегулируемых параметров отдельных рабочих органов. Изменение же технологических параметров средств механизации уборки лука в установленных конструкцией пределах не обеспечивает соблюдения агро-технических требований. Модель оценки качественных показателей работы функционирующих элементов машины для уборки лука на основе теории искусственных нейронных сетей позволяет прогнозировать качественные показатели работы на основании большого числа внешних воздействий X, оказывающих определяющее влияние на процесс уборки. Теория искусственных нейронных сетей позволяет обеспечить описание технологического процесса работы машины для уборки лука, ее отдельных функционирующих элементов, а также прогнозировать и оценивать качественные показатели работы как отдельных функционирующих элементов, так и машины в целом.

Ключевые слова: моделирование, динамическая система, математическая модель, качественные показатели

Для цитирования: Сибирёв А.В., Дорохов А.С., Аксенов А.Г. Цифровизация машинной технологии уборки лука искусственными нейронными сетями. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019; 20(1):84-91. DOI: 10.30766/2072-9081.20.1.84-91.

Digital transformation of machine technology for onion harvesting using the theory of artificial neural networks

© 2019. A.V. Sibiriev, A.S. Dorokhov, A.G. Aksenov

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center
VIM», Moscow, Russian Federation

The problem of forecasting the qualitative indicators of onion harvesters was solved using the methodologies of the system analysis and synthesis, physical modeling, based on the theory of artificial neural networks. Analysis of the mathematical model of the working process of onion harvesting machine showed that the increase in the quality indicators of onion harvesting can be ensured by the optimal ratio of internal unregulated parameters of separate executive devices. A change in the process parameters of mechanical means for onion harvesting within design limits does not ensure keeping to agrotechnical requirements. This neural network model for the assessment of quality indicators of functioning elements of the machine for harvesting onion set allows to predict the quality performance indicators on the basis of a large number of external impacts X, affecting the harvesting process. The theory of artificial neural networks allows to describe the technological working process of the machine for harvesting onion set, its individual functioning elements, to predict and evaluate the quality performance indicators both of separate executive devices and the entire machine.

Key words: modeling, dynamic system, mathematical model, qualitative indicators

For citation: Sibiriev A.V., Dorokhov A.S., Aksenov A.G. Digital transformation of machine technology for onion harvesting using the theory of artificial neural networks. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019; 20(1):84-91. (In Russ.). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.1.84-91.

В настоящее время для проектирования и оценки эффективности функционирования динамических систем наиболее распространенным методом является системный анализ. Применительно к вопросам разра-

ботки динамических систем традиционно используются: концептуальное, физическое, структурно-функциональное, математическое (логико-математическое), имитационное моделирование [1, 2, 3].

* Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК – 4002.2018.8.

Опубликована по материалам доклада на Международной научной конференции «Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства» (г. Киров, 2018 г.).

Моделирование динамических систем на основе системного подхода сводится к построению модели, основанной на принципе «черного ящика» [4]. Данные модели не раскрывают механизм явлений и поэтому могут использоваться лишь для рассмотрения конкретного процесса на реальной машине, а отсюда – недостаточно эффективны для углублённых исследований на уровне подсистем и поиска новых конструктивных решений^{1,2}.

В связи с этим необходима разработка математической модели рабочего процесса уборки лука, которая может быть использована в системе мониторинга качественных показателей работы машин, как для уборки, так и для и послеуборочной обработки лука и других корнеплодов.

Цель исследования – разработать математическую модель технологического процесса работы машины для уборки лука-севка, позволяющую прогнозировать качественные показатели процесса уборки лука-севка на основании факторов возмущения внешней среды.

Моделирование машинной технологии уборки лука искусственными нейронными сетями является новым подходом в исследовании технологических процессов сельскохозяйственных машин.

Материал и методы. Нейронные сети имеют преимущество перед рассмотренными традиционными методами моделирования динамических систем исходя из того, что точное описание всех имеющихся взаимосвязей невозможно, но выделяется некоторый набор показателей, характеризующих исследуемое явление. В отсутствие четкой концептуальной модели применение регрессионных методов не представляется возможным [5, 6, 7].

В машинах переходный процесс возникает при пуске и остановке, переходе с одного режима на другой, а также при сбросе или увеличении полезной нагрузки [8, 9, 10, 11]. Искусственная нейронная сеть осуществляет преобразование вектора входных сигналов (воздействий X) в вектор выходных Y . Искусственный нейрон имитирует в первом при-

ближении свойства природной нервной клетки мозга [5, 6].

Известно, что любая естественная или искусственная система, в которой есть начальное состояние (входное сообщение сигнал) $X(t)$ и конечное (выходное сообщение) $Y(t)$, является классическим представлением о процессах работы машин [12, 13], что и подтверждает обобщенная схема искусственного нейрона¹ [1, 4].

Для наиболее точной оценки качественных показателей работы технических средств в качестве параметров каждого вектора необходимо учитывать факторы возмущения внешней среды (X), состояния рабочих органов (Z) и факторы, обусловленные оптимальным режимом работы (U) [13].

В связи с тем, что качественные показатели технологического процесса работы технических средств для возделывания и уборки лука оцениваются не только лишь одним показателем работы, а минимум двумя или даже тремя, то изучаемая нами динамическая система (посевная машина, уборочный комбайн) является частным случаем искусственной нейронной сети Кохонена.

Входными аргументами для подобной нейронной сети являются векторы, числовые параметры которых характеризуют физико-механические свойства лука и состояние внешней среды, следовательно, каждый отдельный вектор – это набор факторов возмущения внешней среды (X).

Машина для уборки лука (рис. 1) в зависимости от вида убираемой культуры в большинстве своем состоит из следующих основных функционирующих элементов различного исполнения [7]: подкапывающего рабочего органа (П), рабочего органа первичной сепарации (УП), а также рабочего органа, интенсифицирующего процесс сепарации убираемой продукции от крупных почвенных комков (УК), кроме того, в современных конструкциях уборочных машин предусмотрены устройства вторичной сепарации корнеплодов от соизмеримых с ними почвенных комков и выгрузного транспортера /валкоукладывающего устройства (УТ).

¹Бобков С.П., Бытнев Д.О. Моделирование систем: учеб. пособие. Иван. гос. хим-технол. ун-т. Иваново, 2008. 156 с.

²Барский А.Б. Логические нейронные сети: учеб. пособие. М.: Бином, 2012. 352 с.

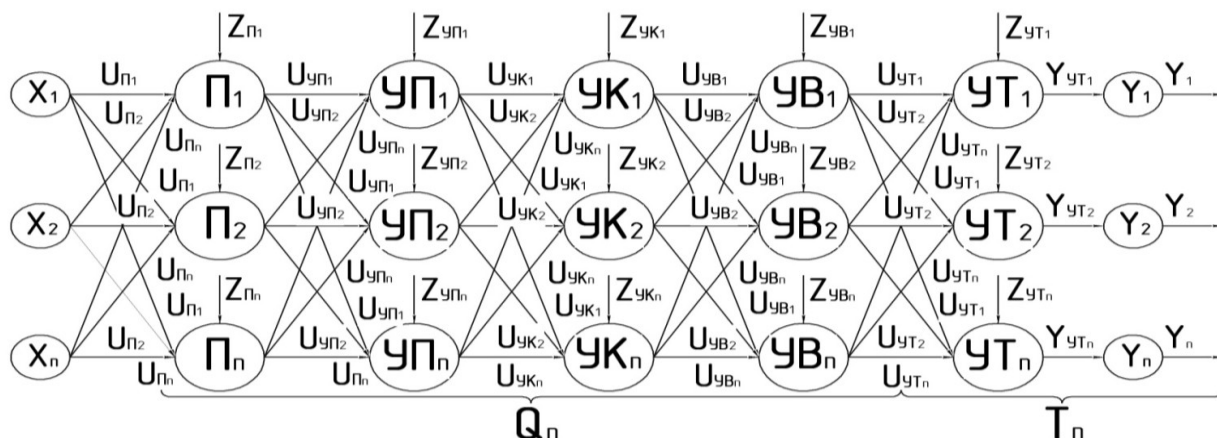


Рис. 1. Функциональная схема машины для уборки лука выкапывающего типа для однофазной уборки или первой фазы уборки в виде многослойной нейронной сети: P_1, P_2, P_n – разновидность исполнения подкапывающего рабочего органа; UP_1, UP_2, UP_n – разновидность исполнения рабочего органа первичной сепарации; UK_1, UK_2, UK_n – разновидность исполнения рабочего органа первичной сепарации с интенсификатором; UB_1, UB_2, UB_n – разновидность исполнения рабочего органа вторичной сепарации; UT_1, UT_2, UT_n – разновидность исполнения валкоукладывающего устройства или выгрузного транспортера; X_1, X_2 и X_n – вход искусственного нейрона; $U_n, U_{np}, U_{uk}, U_{ub}$ и U_{ut} – функции управляющего воздействия подкапывающего рабочего органа, рабочих органов первичной сепарации, первичной сепарации с интенсификатором сепарации, вторичной сепарации и валкоукладывающего устройства; $Z_n, Z_{np}, Z_{uk}, Z_{ub}$ и Z_{ut} – функции состояния функционирующего элемента подкапывающего рабочего органа, рабочего органа первичной сепарации, рабочих органов первичной сепарации, первичной сепарации с интенсификатором сепарации, вторичной сепарации и валкоукладывающего устройства; $Y_n, Y_{np}, Y_{uk}, Y_{ub}$ и Y_{ut} – результирующие параметры подкапывающего рабочего органа, рабочих органов первичной сепарации, первичной сепарации с интенсификатором сепарации, вторичной сепарации и валкоукладывающего устройства

Fig. 1. Functional diagram of the machine for harvesting root crops and onions of digging type for single-phase harvesting or the first phase of harvesting as a multilayer neural network: P_1, P_2, P_n – design type of an undercutting executive device; UP_1, UP_2, UP_n – design type of an initial separation executive device; UK_1, UK_2, UK_n – design type of an initial separation executive device with an intensifier; UB_1, UB_2, UB_n – design type of a secondary separation executive device; UT_1, UT_2, UT_n – design type of a swathing device or an unloading conveyor; X_1, X_2 and X_n – artificial neuron input; $U_n, U_{np}, U_{uk}, U_{ub}$ and U_{ut} – control action functions for the undercutting executive device, initial separation executive device, initial separation executive device with a separation intensifier, secondary separation executive device and swathing device; $Z_n, Z_{np}, Z_{uk}, Z_{ub}$ and Z_{ut} – state functions for the functioning element of the undercutting executive device, initial separation executive device, initial separation executive device with a separation intensifier, secondary separation executive device and swathing device; $Y_n, Y_{np}, Y_{uk}, Y_{ub}$ and Y_{ut} – resulting parameters of the undercutting executive device, initial separation executive device, initial separation executive device with a separation intensifier, secondary separation executive device and swathing device

В процессе работы машины для уборки лука на результирующие показатели (Y) его работы будут влиять параметры внешних и внутренних воздействий, которые могут изменяться в следующих пределах¹ [7]:

$$\begin{cases} X_{\max} \leq X \leq X_{\min}, \\ Z_{\max} \leq Z \leq Z_{\min}, \\ U_{\max} \leq U \leq U_{\min}, \end{cases} \quad (1)$$

где $X_{\max}, X_{\min}$ – максимальные и минимальные значения параметров внешних воздействий; $Z_{\max}, Z_{\min}$ – максимальные и минимальные значения внутренних нерегулируемых параметров внешних воздействий; $U_{\max},$

$U_{\min}$ – максимальные и минимальные значения внутренних регулируемых параметров внешних воздействий.

Варьирование весов связей нейронных сетей в установленных значениях приводит к изменению качественных показателей (Y) работы функционирующих элементов уборочной машины, аналитические зависимости которых являются известными в результате проведения предшествующих исследований рабочих органов уборочных машин. Нейронной сети сообщается диапазон значения качественного показателя (Y), величину которого необходимо получить в зависимости от входного вектора

(X), далее нейронная сеть адаптирует параметры своих нейронов таким образом, чтобы после прохождения обучающего алгоритма её поведение соответствовало решению установленной задачи.

Для определения результирующих параметров (Y) функционирующего элемента уборочной машины использовали метод случайного поиска, согласно которому при переходе входного сигнала (X) от предыдущего рабочего органа N_{n-1} к последующему N_n делается шаг $j \cdot \xi$, где ξ — единичный вектор, указывающий направление, в котором выбирается изменение оптимизируемых параметров машины для уборки лука; j — величина шага, обусловленная состоянием внутренних регулируемых параметров (U) функционирующих элементов уборочной машины [9].

Результаты и их обсуждение. Качественные показатели машины для уборки лука оцениваются: повреждением луковок P_K , %; полнотой сепарации луковок v_K , %; потерей луковок R_K , %. При этом качественные показатели технологического процесса уборки лука должны соответствовать, предъявляемым агротехническим требованиям, т.е. они должны находиться в интервале значений [11]:

$$Y_{\min} \leq Y_i \leq Y_{\max}, \quad (2)$$

где Y_i — величина значения i -го качественного показателя уборки луковок; $Y_{\min}$ — минимальное значение; $Y_{\max}$ — максимальное значение.

При соответствии показателей качества уборки лука указанному диапазону, заданному агротехническими требованиями, на выход искусственной нейронной сети поступает значение, равное 1, в противном случае поступает значение 0, т.е.:

$$\Delta Y_i \begin{cases} 0, & \text{если } Y_i \leq Y_{\min}, \\ 1, & \text{если } Y_{\min} \leq Y_i \leq Y_{\max}. \end{cases} \quad (3)$$

Для наиболее полной имитации технологического процесса уборки лука необходимо учитывать факторы внешней среды, являющиеся входными векторами X искусственной нейронной сети и оказывающими влияние на качественные показатели работы уборочной машины. К их числу следует отнести: X_1 — ширина посевов лука; X_2 — густота стояния посевов; X_3 — глубина залегания луковок; X_4 — размеры луковок; X_5 — физико-механические свойства почвы (влажность и твердость почвы); X_6 — коэффициент трения луковок по различным поверхностям.

Совокупность входных векторов, поступающих для преобразования на вход искусственной нейронной сети, в нашем случае — сельскохозяйственной машины, представим в виде матрицы:

$$X^{(i)} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ X_4 & X_5 & X_6 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Топология одноименных функционирующих элементов уборочной машины определяется различными вариантами исполнения рабочих органов в пределах одного слоя искусственной нейронной сети.

Следовательно, весовые коэффициенты, определяющие эффективность работы функционирующих элементов скрытого слоя искусственной нейронной сети машины для уборки лука, определяются вектором-столбцом, элементами которого являются внутренние регулируемые параметры (U) рабочих органов машины:

$$W^{(i)} = \begin{bmatrix} U_{(П_1, УП_1, УК_1, УВ_1)} \\ U_{(П_2, УП_2, УК_2, УВ_2)} \\ U_{(П_n, УП_n, УК_n, УВ_n)} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $U_{(П_n, УП_n, УК_n, УВ_n)}$ — функции управляющего воздействия подкапывающего рабочего органа, рабочих органов первичной сепарации, первичной сепарации с интенсификатором сепарации и вторичной сепарации; n — разновидность исполнения функционирующего элемента машины для уборки лука.

Ошибка между идеальным выходным значением и фактическим, полученным после прохождения сигнала через сеть, рассчитывается и распространяется обратно к скрытому слою для обновления весовых коэффициентов между узлами, т.е. пересчитываются веса матриц между входным-скрытым и скрытым-выходным слоями. Внутренние нерегулируемые параметры скрытого слоя искусственной нейронной сети (Z) функционирующих элементов машины для уборки лука представим в виде вектора-столбца $Q^{(i)}$:

$$Q^{(i)} = \begin{bmatrix} Z_{(П_1, УП_1, УК_1, УВ_1)} \\ Z_{(П_2, УП_2, УК_2, УВ_2)} \\ Z_{(П_n, УП_n, УК_n, УВ_n)} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $Z_{(П_n, УП_n, УК_n, УВ_n)}$ — функции состояния подкапывающего рабочего органа, рабочего органа первичной сепарации, рабочих органов первичной сепарации, первичной сепара-

ции с интенсификатором сепарации и вторичной сепарации; n – разновидность исполнения функционирующего элемента машины для уборки лука.

Аналитическое описание технологического процесса работы функционирующих элементов машины для уборки лука на основании теории искусственных нейронных сетей для скрытого слоя запишется в виде [6, 7]:

$$g_i = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + Q_n\right) = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n W^{(i)} \times X^{(i)} + Q^{(i)}\right), \quad (7)$$

где w_{ij} – вес связи i -го нейрона к j -му; x_i – входной сигнал; Q_n – массив порога скрытого слоя (функционирующих элементов машины для уборки овощных культур).

Согласно уравнению (7) технологический процесс работы машины для уборки корнеплодов и лука с учетом выходного слоя искусственной нейронной сети – валкоукладывающего устройства/выгрузного транспортера запишется в виде [6, 7]:

$$y_k = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \cdot \left(\sum_{j=1}^h W^{(j)} \times f\left(\sum_{i=1}^n W^{(i)} \times X^{(i)} + Q^{(i)}\right) + T^j\right). \quad (8)$$

Весовые коэффициенты, определяющие эффективность работы валкоукладывающего устройства/выгрузного транспортера (выходного слоя) машины для уборки лука, определяются вектором-столбцом:

$$W^{(i)} = \begin{bmatrix} U_{(YT_1)} \\ U_{(YT_2)} \\ U_{(YT_n)} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $U_{(YT_n)}$ – функция управляющего воздействия валкоукладывающего устройства/выгрузного транспортера; n – разновидность исполнения валкоукладывающего устройства/выгрузного транспортера.

Внутренние (Z) нерегулируемые параметры выходного слоя искусственной нейронной сети – валкоукладывающего устройст-

ва/выгрузного транспортера машины для уборки корнеплодов и лука представим в виде вектора-столбца порога выходного слоя нейрона $T^{(i)}$:

$$T^{(i)} = \begin{bmatrix} Z_{(YT_1)} \\ Z_{(YT_2)} \\ Z_{(YT_n)} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где $Z_{(YT_n)}$ – функции состояния валкоукладывающего устройства/выгрузного транспортера; n – разновидность исполнения валкоукладывающего устройства/выгрузного транспортера.

Для определения качественных показателей работы функционирующих элементов машины для уборки лука были проведены экспериментальные исследования, по результатам которых получены входные (X) и выходные (Y) параметры функционирующих элементов машины, необходимые для проведения обучения искусственной нейронной сети (рис. 2).

Выводы. Для осуществления процесса обучения исследуемой искусственной нейронной сети – машины для уборки лука, имитируемой моделью многослойного персептрона без обратных связей используют обучение по правилу Хебба или Δ -правилу.

Для обучения искусственной нейронной сети, имитирующей работу сельскохозяйственной машины, правило Хебба является неприемлемым, в связи с тем, что функция активации при протекании всех сельскохозяйственных процессов является разновидностью сигмоидальной функции, а не пороговой, как требует данное правило. Следовательно, обучение исследуемой искусственной нейронной сети необходимо осуществлять по Δ -правилу, но при этом необходимо иметь информацию не только о значениях текущих входов нейронов X , но и требуемые правильные значения Y .

В случае многослойной сети правильные значения имеются только для нейронов выходного слоя. Требуемые значения выходов для нейронов скрытых слоев неизвестны, что и ограничивает применение Δ -правила. В связи с чем были проведены экспериментальные исследования, по результатам которых получены входные (X) и выходные (Y) параметры функционирующих элементов машины для уборки лука-севка, необходимые для проведения обучения искусственной нейронной сети.

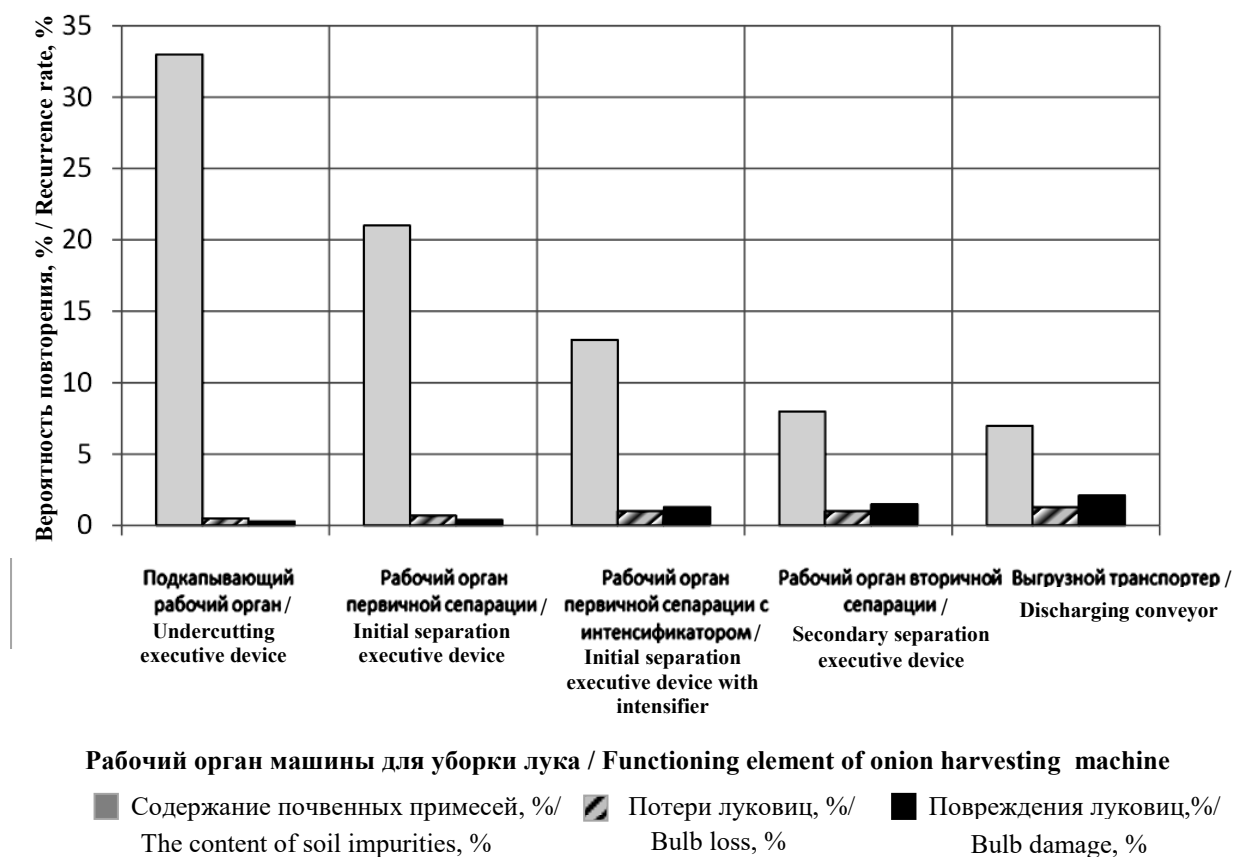


Рис. 2. Качественные показатели технологического процесса работы функционирующих элементов машины для уборки лука

Fig. 2. Technological process qualitative indicators of the onion harvester functioning elements operation

Список литературы

1. Аксенов А.Г., Сибирёв А.В., Козлова А.И. Методология разработки технологических и технических решений на возделывании овощных культур на примере посадки лука-севка // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: мат-лы Междунар. научн.-техн. конф. М.: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства», 2015. С. 284-288. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24016033>.
2. Борисова Л.В., Димитров В.П. Лингвистический подход к решению задачи технологической регуляции комбайнов // Вестник Мордовского университета. 2017. № 2. С. 178-189. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.178-189.
3. Гарина С.В., Люпаев Б.М., Никишин М.Б. Оптимизация многокритериальных решений // Вестник Мордовского университета. 2015. Т. 25. № 4. С. 12-17. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.012.
4. Камалетдинов Р.Р. Объектно-ориентированное имитационное моделирование в среде теории информации (информационное моделирование) // Известия Международной академии аграрного образования. 2012. Т. 1. № 14. С. 186-194. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17693760>.
5. Жалнин Э.В., Постулаты В.П. Горячкина и их дальнейшее развитие // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2008. № 2. С. 15-21. Режим доступа: <https://cyberlenin-ka.ru/article/n/postulaty-v-p-goryachkina-i-ih-dalneyshee-razvitiye>.
6. Комашинский И.В. Нейронные сети их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 94 с.
7. Цельсов Н.Ю. Нейронные сети как метод оценки кредитоспособности заемщика // «Научно-технический вестник» МГТУ им. Баумана. 2015. № 77. С. 16-25.
8. Щенников В.Н., Щенникова Е.В., Санников С.А. Сравнение моделей с нейронной сетью и OLS-регрессией при построении стратегии управления риском от дохода по индексу // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27. № 1. С. 12-20. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.012-020.

9. Протасов А.А. Функциональный подход к созданию лукоуборочной машины // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2011. № 2 (47). С. 37-43. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnoy-podhod-k-sozdaniyu-lukouborochnoy-mashiny>.

10. Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. Методологическое обоснование модельного построения сельскохозяйственных машин искусственными нейронными сетями // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: Междунар. научн.-практ. конф. Майский: ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина», 2018. С. 185-191. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32380302>.

11. Ларюшин Н.П., Ларюшин А.М. Энергосберегающая технология уборки лука // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 1. С. 55-56.

12. Краснощеков Н.В. Агроинженерная стратегия: от механизации сельского хозяйства к его интеллектуализации // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 8. С. 5-7. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608>.

13. Нурутдинова И.Н., Шумская Н.Н., Димитрова Л.А. Об использовании весовых коэффициентов при формировании экспертной информации // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: сб. статей 10-й Междунар. юбилейной науч.-практ. конф. в рамках 20-й Междунар. агропромышленной выставки «Интераргомаш-2017». Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2017. С. 332-334. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=2878143>.

Поступила: 24.12.2018

Принята к публикации: 06.02.2019

Сведения об авторах:

Сибирёв Алексей Викторович, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, **ORCID ID – 0000-0002-9442-2276**, e-mail: sibirev2011@yandex.ru;

Дорохов Алексей Семенович, доктор техн. наук, член-корреспондент РАН, зам. директора по научно-организационной работе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, **ORCID ID – 0000-0002-4758-3843**; e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru,

Аксенов Александр Геннадьевич, кандидат техн. наук, вед. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, **ORCID ID – 0000-0002-9546-7695**, e-mail: 1053vim@mail.ru.

References

1. Aksenov A.G., Sibirev A.V., Kozlova A.I. *Metodologiya razrabotki tekhnologicheskikh i tekhnicheskikh resheniy na vozdeystviye ovoshchnykh kul'tur na primere posadki luka-sevka*. [Methodology of development of technological and technical solutions for the cultivation of vegetable crops on the example of planting onion sets]. *Intellectual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: mat-ly Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.* [Intellectual machine technologies and equipment for the implementation of the state program for the development of agriculture - an international scientific and technical conference]. Moscow: FGBNU «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva», 2015. pp. 284-288. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24016033>.

2. Borisova L.V., Dimitrov V.P. *Lingvisticheskiy podkhod k resheniyu zadachi tekhnologicheskoy regulirovki kombaynov*. [Linguistic approach to solving the problem of technological adjustment of combines]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2017. no. 2. pp. 178-179. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.178-189.

3. Garina S.V., Lyupaev B.M., Nikishin M.B. *Optimizatsiya mnogokriterial'nykh resheniy*. [Optimization of multicriteria solutions]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2015. Vol. 25. no. 4. pp. 12-17. (In Russ.). DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.012.

4. Kamaletdinov R.R. *Ob"ektno-orientirovannoe imitatsionnoe modelirovanie v srede teorii informatsii (informatsionnoe modelirovanie)*. [Object-oriented simulation modeling in the environment of information theory (information modeling)]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2012. Vol. 1. no. 14. pp. 186-194. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17693760>.

5. Zhalnin E.V. *Postulaty V.P. Goryachkina i ikh dal'neyshee razvitiye*. [Postulates by V.P. Goryachkin and their further development]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina*. 2008. no. 2. pp. 15-21. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postulaty-v-p-goryachkina-i-ih-dalneyshee-razvitiye>.

6. Komashinskiy I.V. *Neyronnye seti ikh primeneniye v sistemakh upravleniya i svyazi*. [Use of neural networks in control and communication systems]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2003. 94 p. (In Russ.).
7. Tsel'sov N.Yu. *Neyronnye seti kak metod otsenki kreditosposobnosti zaemshchika*. [Neural networks as a method of assessing the creditworthiness of the borrower]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik MGTU im. Baumana*. 2015. no. 77. pp. 16-25. (In Russ.).
8. Shchennikov V.N., Shchennikova E.V., Sannikov S.A. *Sravnenie modeley s neyronnoy set'yu i OLS-regressiey pri postroenii strategii upravleniya riskom ot dokhoda po indeksu*. [Comparison of models with a neural network and OLS regression when building a strategy for managing risk from income by index]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2017. Vol. 27. no. 1. pp. 12-20. (In Russ.). DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.012-020.
9. Protasov A.A. *Funktsional'noy podkhod k sozdaniyu lukouborochnoy mashiny*. [Functional approach to the creation of the harvesting machine]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina*. 2011. no. 2 (47). pp. 37-43. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnoy-podkhod-k-sozdaniyu-lukouborochnoy-mashiny>.
10. Sibirev A.V., Aksenov A.G. *Metodologicheskoe obosnovanie mo-del'nogo postroeniya sel'skokhozyaystvennykh mashin iskusstvennymi ney-ronnymi setyami*. [Methodological substantiation of the model construction of agricultural machines by artificial neural networks]. *Aktual'nye problemy agroinzhenerii v XXI veke: Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [International scientific and practical conference "Actual problems of agroengineering in the XXI century"]. Mayskiy: FGBOU VO «Belgorodskiy GAU im. V.Ya. Gorina», 2018. pp. 185-191. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32380302>.
11. Laryushin N.P., Laryushin A.M. *Energoberegayushchaya tekhnologiya uborki luka*. [Energy saving technology in onion harvesting]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2009. no. 1. pp. 55-56. (In Russ.).
12. Krasnoshchekov N.V. *Agroinzhenernaya strategiya: ot mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva k ego intellektualizatsii*. [Agricultural engineering strategy: from the mechanization of agriculture to its intellectualization]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2010. no. 8. pp. 5-7. (In Russ.). URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17692608>.
13. Nurutdinova I.N., Shumskaya N.N., Dimitrova L.A. *Ob ispol'zovanii vesovykh koeffitsientov pri formirovani ekspertnoy informatsii*. [On the use of weight factors in the formation of expert information]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 10-y Mezhdunar. yubileynoy nauch.-prakt. konf. v ramkakh 20-y Mezhdunar. agropromyshlennoy vystavki «Interargomash-2017»*. [State and prospects for the development of agricultural engineering: Coll. articles of the 10th International jubilee scientific and practical. conf. in the framework of the 20th Intern. agroindustrial exhibition "Interargomash-2017"]. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, 2017. pp. 332-334. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=2878143>.

Received: 24.12.2018

Accepted for publication: 06.02.2019

Information about the authors:

Alexey V. Sibirev, PhD in Engineering, senior researcher, Department of Technology and Machines in Vegetable Farming, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», d. 5, 1st Institut'skiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, **ORCID ID** – 0000-0002-9442-2276, e-mail: sibirev2011@yandex.ru,

Alexey S. Dorokhov, DSc in Engineering, corresponding member of RAS, Deputy Director for Scientific and Organizational Work Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», d. 5, 1st Institut'skiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, **ORCID ID** – 0000-0002-4758-3843, e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru,

Alexander G. Aksenov, PhD in Engineering, leading researcher, Department of Technology and Machines in Vegetable Farming Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», d. 5, 1st Institut'skiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, **ORCID ID** – 0000-0002-9546-7695, e-mail: 1053vim@mail.ru,

ЮБИЛЕИ / JUBILEE

Юбилей Ли Юй



30 января 2019 г. исполнилось 75 лет профессору Ли Юй – ученому-микологу мирового уровня, научному руководителю Цзилиньского аграрного университета (г. Чанчунь, КНР), члену Академии наук Китая, Китайской академии инженерных наук, иностранному члену Российской академии наук, президенту Международного общества лекарственных грибов.

Ли Юй посвятил себя исследованиям в области микологии. Национальной Премией Китая в области естественных наук отмечены работы Ли Юй по систематике и таксономии миксомицетов – грибоподобных микроорганизмов. Ученым создан генный банк (Fungus GenBank) из более 400 видов миксомицетов (2/3 всемирно известных видов), описано 46 новых, о которых стало известно в мире лишь в последние годы.

Вклад Ли Юй в развитие индустрии грибов в Китае уникален. Ему удалось объединить результаты фундаментальных и прикладных исследований, разработать инновационные технологии разведения грибов, что способствовало модернизации отрасли производства грибов пищевого и лекарственного назначения в Китае.

Премиями за научно-технический прогресс Провинции Цзилинь отмечены работы Ли Юй по сохранению ресурсного многообразия грибов, разработке технологий сортового улучшения новых видов съедобных грибов и внедрению эффективных способов их выращивания в северных провинциях Китая, научному сопровождению промышленной системы производства съедобных и лекарственных грибов.

Возглавляя Центр инженерных исследований пищевых и лекарственных грибов при Министерстве образования Китая, Ли Юй основал систему факультетов микологии и технологии производства съедобных грибов для полного цикла обучения (от первых курсов университета до докторантуры).

Ли Юй руководил более чем 50 исследовательскими проектами в области науки, технологии и производства грибов Министерства науки и техники, Министерства сельского хозяйства, Национального фонда естественных наук Китая (NSFC).

В России, по инициативе Ли Юй и В.А. Сысуева, директора Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (г. Киров), создан Китайско-Российский Центр по сохранению и выращиванию грибов. По результатам китайско-российской экспедиции (2006 г.) издана монография о лекарственных грибах Китая и России, их лекарственных свойствах и перспективах развития грибных биотехнологий. Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований.

Ли Юй – автор 24 книг и более 600 научных статей, 17 патентов на изобретения.

Ли Юй – главный редактор «Journal of Fungal Research», член редколлегии журналов «Mycosystema» (до 2009 г.), «International Journal of Medicinal Mushrooms», «Теоретическая и прикладная экология», «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

*Редакция журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока»
поздравляет господина Ли Юй с юбилейной датой!*

Дальнейшего развития Делу Вашей жизни!
Благодарим за содружество с российскими учеными!
Доброго здоровья и созидательного настроения!

Юнусову Губейдулле Сибяттуловичу – 75 лет!



Юнусов Губейдулла Сибяттулович – доктор технических наук, профессор кафедры механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции Аграрно-технологического института Марийского ГУ, заслуженный работник сельского хозяйства Республики Марий Эл, заслуженный работник высшей школы РФ, член редакционного совета научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

Губейдулла Сибяттулович – уроженец Кировской области (27.01.1944 г.), но уже со школьной скамьи его жизненный путь неразрывно связан с Республикой Марий Эл. Учеба в сельскохозяйственном техникуме механизации сельского хозяйства, работа на производстве и в органах управления сельским хозяйством, включая должность зам. министра сельского хозяйства республики по механизации и электрификации, и, наконец, более 30 лет – научно-педагогическая

работа в Марийском ГУ, в том числе директором Аграрно-технологического института.

Глубочайшие познания в практических вопросах организации сельскохозяйственного производства Губейдулла Сибяттулович сочетает с активной научно-исследовательской деятельностью по совершенствованию технологий и технических средств поверхностной обработки почвы, разработке технологий возделывания зерновых культур, интенсификации процессов переработки сельскохозяйственной продукции. Г.С. Юнусов в 1991 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 2005 г. – докторскую. Автор около 300 научных работ, лауреат Государственной премии Республики Марий Эл в области сельскохозяйственного производства за серию монографий. Под руководством профессора Г.С. Юнусова защищено 4 кандидатских диссертации. Он является членом диссертационных советов Д.220.070.01 при Чувашской ГСХА и ДМ212.116.02 при Марийском ГУ.

Все, кто знает Губейдуллу Сибяттуловича, отмечают, наряду с высоким профессионализмом, энергичностью, принципиальностью и требовательностью, его особые человеческие качества – отзывчивость, честность, справедливость. Г.С. Юнусов – признанный наставник молодого поколения, неоднократно награждался почетными грамотами Марийского ГУ за научную работу со студентами и дипломом «Лучший преподаватель года». Губейдулла Сибяттулович – приверженец здорового образа жизни. Ежедневные закаливания, бег, моржевание – свидетельствуют о силе характера этого удивительного человека и во многом предопределили его жизненный успех.

Поздравляя Губейдуллу Сибяттуловича с юбилейным днем рождения, выражаем восхищение его мужественностью, признательны за многолетнее сотрудничество! Желаем здоровья, молодого задора, научных и спортивных достижений, личного счастья!

Коллектив ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

Юбилей Вацлава Романюка



22 февраля 2019 г. исполнилось 80 лет Вацлаву Романюку – доктору технических наук, профессору, заведующему отделом механизации животноводства Технологического Природоведческого Института (ИПР), члену редакционного совета журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

Вацлав Романюк родился в деревне Кживовежба Люблинского воеводства Польши. Закончил в 1965 г. факультет сельскохозяйственных машин Варшавского технического университета. С 1966 года профессиональная деятельность Вацлава Романюка связана с Институтом строительства, механизации и электрификации сельского хозяйства (с 2010 г. – Технологический природоведческий институт, г. Варшава – Фаленты). Он прошел путь от младшего научного сотрудника до ученого секретаря

института и руководителя отдела механизации животноводства, защитил кандидатскую (1979 г.) и докторскую диссертации (1997 г.). Ученое звание профессора получил в 2001 году.

Научные интересы Вацлава Романюка направлены на разработку и внедрение технических средств и технологических линий в животноводстве и кормопроизводстве, решение проблем получения биогаза из отходов сельскохозяйственного производства, на обеспечение надежности использования сельскохозяйственной техники и улучшение условий труда.

В. Романюк – автор свыше 500 научных статей, патентов и монографий. За свой труд он удостоен четырех премий Министерства сельского хозяйства Польши. Под его руководством 10 аспирантов и соискателей успешно защитили диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Профессор В. Романюк – организатор 24 Международных научных конференций по вопросам механизации животноводства и охраны окружающей среды. Он активно сотрудничает с учеными Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого и других институтов России, с которыми проводит совместные исследования и научные конференции как в Польше, так и в России, оказывает помощь российским ученым в публикации результатов за рубежом, является членом редсовета нескольких авторитетных российских научных журналов.

***Сердечно поздравляем Вацлава Романюка с юбилеем!
Желаем крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших успехов
в творческой деятельности, а также выражаем уверенность,
что сотрудничество между учеными России и Польши
будет только укрепляться и развиваться!***

Коллектив ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

ХРОНИКА / CHRONICLE

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

1 января 2019 г. на 88-ом году ушел из жизни

ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ ХРИСТОФОРОВ

**– выдающийся ученый и замечательный человек, кандидат
сельскохозяйственных наук, научный сотрудник Марийского НИИСХ**



Л.В. Христофоров родился 19 сентября 1931 года в г. Вологда. После окончания Тимирязевской сельскохозяйственной академии в сентябре 1954 г. был направлен на освоение целинных земель Казахстана, где проработал по ноябрь 1958 г. в Кокчетавской области агрономом-семеноводом райселемхоза «Новый Украинiec».

Затем переехал в Марийскую АССР и поступил на должность старшего научного сотрудника и руководителя группы по кормопроизводству на Марийскую государственную сельскохозяйственную опытную станцию. С марта 1959 г. по апрель 1961 г. возглавлял лабораторию картофелеводства, совмещая обязанности заместителя директора по производственной части.

С апреля 1961 г. по июль 1962 г. руководил отделом пропашных культур, а с июля 1962 г. по март 1963 г. являлся главным агрономом станции, с марта 1963 г. – зам. директора опытной станции по научной части. Спустя три года поступил в заочную аспирантуру при Научно-исследовательском институте картофельного хозяйства.

В это время Л.В. Христофоров вел научную работу, связанную с вопросами улучшения качества семян выращиваемой элиты, эффективности влияния органических и минеральных удобрений, совершенствованию приемов агротехники возделывания семенного и продовольственного картофеля.

26 июня 1975 года объединенным Советом НИИ овощного хозяйства и НИИ картофельного хозяйства ему присуждена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук.

Лев Васильевич вошел в историю становления и развития Марийского НИИСХ результатами более чем 40-летней научной деятельности. Он внес огромный вклад в развитие сельского хозяйства Республики Марий Эл, воспитал не одно поколение научных кадров Марийского НИИСХ, подготовил немало специалистов для хозяйств республики. Как ученого его знали далеко за пределами республики, после себя он оставил множество научных трудов, актуальных и в наше время. Разработка основ адаптивных агротехнологий и приемов повышения плодородия почв для условий республики, вклад в развитие российской и региональной эколого-географической сети опытов с удобрениями, научно-методическая помощь ученым региона, обеспечение преемственности поколений в родном институте – все делалось Львом Васильевичем высокопрофессионально, творчески и заинтересованно.

За трудовые успехи Л.В. Христофоров был награжден орденами «Трудового Красного Знамени» и «Знака почета», медалью «За освоение целинных земель». Ему присвоено почетное звание «Заслуженный агроном Российской Федерации».

Для нас, его учеников, Лев Васильевич был замечательным ученым и педагогом, великодушным, добрым, порядочным и отзывчивым человеком.

**Светлая память Льву Васильевичу.
Низкий поклон за преданность аграрной науке**

Коллектив Марийского НИИСХ –
филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

Публикация уточнений

В №4 (59) за 2017 г. журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» опубликована статья Д.Б. Шокаевой, канд. с.-х. наук, ст. научного сотрудника ФГБНУ ВНИИСПК «Связь зимостойкости исходных генотипов земляники с наследованием числа соцветий и средней массы ягоды».

Редакция журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» на основании официального письма руководства ФГБНУ ВНИИСПК и ответов на запросы редакции от автора и учреждения, в котором выполнялись работы, оповещает читателей о том, что публикация содержит недостоверные данные о месте работы автора статьи, так как на момент подачи рукописи в редакцию автор не являлся сотрудником ФГБНУ ВНИИСПК. Тем не менее, материалы статьи основаны на результатах научно-исследовательской работы, выполненной автором на базе ФГБНУ ВНИИСПК в различные годы при работе в учреждении на постоянной и договорной основе.

Редакция публикует следующие уточнения:

- из аффилиации автора на стр. 24 следует удалить название организации:

**«Связь зимостойкости исходных генотипов земляники
с наследованием числа соцветий и средней массы ягоды»**

Шокаева Дина Багитжановна, кандидат с.-х. наук, г. Орел, Россия.

- в изложении абзаца 2 первой колонки на стр. 25:

Материал и методы. Материалом для исследований послужили сорта земляники и их гибридные потомства. Поставлено 3 опыта на базе ФГБНУ ВНИИСПК.

**Международная научная конференция
«Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия
и животноводства» и семинар молодых ученых
«Методика научных исследований в механизации сельского хозяйства»
(12-14 декабря 2018 г., г. Киров)**



Мероприятия проведены при поддержке РФФИ (проект 18-016-20009) на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

В работе конференции приняли участие ученые научных учреждений и высших учебных заведений Москвы и Санкт-Петербурга; Вологодской, Кировской, Нижегородской, Новосибирской, Рязанской, Челябинской областей; республик Коми, Татарстан, Удмуртская и Чувашская; Пермского края. Российскую академию наук представляли 4 члена РАН, страны ближнего зарубежья – ученые из Польши и Украины. В форуме участвовали руководители и специалисты машиностроительных и сельскохозяйственных предприятий, представители Министерства сельского хозяйства и продовольствия АПК Кировской области.

На пленарном заседании и трех специализированных секциях – «Энергосберегающие технологии и машины для производства продукции растениеводства», «Ресурсосберегающие технологии и машины для животноводства» и «Методика научных исследований в механизации сельского хозяйства» – заслушано свыше 60 научных докладов и сообщений.



Конференцию открыл академик РАН В.А.Сысуев. С приветственным словом к участникам обратились А.А. Котлячков – зам. председателя Правительства, министр сельского хозяйства и продовольствия Кировской области; Н.М. Липатников – президент Вятской ТПП; А.В. Алешкин – врио директора Федерального аграрного научного центра имени Н.В. Рудницкого.



Пленарное заседание открыл научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, академик РАН В.А.Сысуев докладом «Энергосберегающие технологии и техника для условий северного села». С пленарными докладами выступили ведущие ученые Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (г. Москва): академик РАН Н.М. Морозов «Методические положения оценки экономической эффективности создания и применения инновационной техники в животноводстве» и член-корреспондент РАН Ю.А. Цой «Технологические аспекты создания «умной» молочной фермы». Совместную работу ученых из Казанского государственного аграрного университета, Федерального научного агроинженерного центра ВИМ и Отделения сельского хозяйства РАН «Ярославо-Уральско-Татарстанский комплекс техники органической технологии производства – спасение конкурентоспособной селекции и семеноводства» представил член-корреспондент РАН Н.К. Мазитов.

Материалы конференции и семинара опубликованы в коллективной монографии.

