



АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Научно-практический журнал Костромской ГСХА



№1 (13) 2024



Аграрный вестник Нечерноземья

Научно-практический журнал

Главный редактор

Волхонов Михаил Станиславович, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Костромской области, ректор Костромской ГСХА

Члены редакционного совета

Ажибеков Асанбек Сармашаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой технологии производства продукции животноводства имени М. Н. Луцкихина, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина

Арбаев Кубан Султанович, доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, гистологии и патологии факультета ветеринарной медицины и биотехнологий, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина

Асаналиев Абдыбек Жекшеевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, и.о. профессора кафедры растениеводства и защиты растений, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина

Баранова Надежда Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой частной зоотехнии, разведения и генетики, почетный работник АПК России, Костромская ГСХА

Белов Александр Анатольевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Бородий Сергей Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и селекции, Костромская ГСХА

Бурдейный Василий Владимирович, доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры эпизоотологии, паразитологии и микробиологии, заслуженный работник высшей школы РФ, Костромская ГСХА

Ватников Юрий Анатольевич, доктор ветеринарных наук, профессор, директор департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов

Виноградов Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории электроснабжения, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Виноградов Дмитрий Валериевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии, агрохимии и защиты растений, советник при ректорате, Рязанский государственный агро-технологический университет имени П. А. Костычева

Виноградова Вера Сергеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, биологии и защиты растений, Костромская ГСХА

Евдокимов Николай Витальевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры общей и частной зоотехнии, Чувашский ГАУ

Егоров Сергей Владимирович, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры заразных болезней имени академика РАСХН Ю. Ф. Петрова, Верхневолжский ГАУ

Здюмаева Наталья Петровна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры анатомии и физиологии животных, Костромская ГСХА

Зинцов Александр Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры тракторов и автомобилей, заслуженный изобретатель Костромской области, Костромская ГСХА

Кочуева Наталья Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства, член-корреспондент ПАНИ, Костромская ГСХА

Крючкова Елена Николаевна, доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры инфекционных и паразитарных болезней имени академика РАСХН Ю.Ф. Петрова, Верхневолжский ГАУ

ISSN 2712-8679

Code DOI:

10.52025/2712-8679

**Учредитель,
издатель и редакция:**
федеральное
государственное бюджетное
образовательное
учреждение высшего
образования «Костромская
государственная
сельскохозяйственная
академия»

**Адрес учредителя,
издателя и редакции:**
Россия, 156530,
Костромская область,
Костромской район,
пос. Караваево, Учебный
городок, д. 34, Костромская
государственная
сельскохозяйственная
академия

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере
связи, информационных
технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

*Реестровая запись
о регистрации средства
массовой информации:
ПИ №ФС77-80262
от 19 января 2021 года*

Журнал включен
в РИНЦ (Российский индекс
научного цитирования)
на платформе
НЭБ eLIBRARY

16+

Журнал издается с 2021 года

Периодичность

4 номера в год



Перечень групп специальностей и специализаций, по которым принимаются статьи к публикациям в научном журнале

- 1.5. Биологические науки
- 1.5.17. Паразитология
- 2.1. Строительство и архитектура
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия
- 4.1. Агротехника, лесное и водное хозяйство
- 4.1.1. Общественное земледелие и растениеводство
- 4.2. Зоотехника и ветеринария
- 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология
- 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных
- 4.2.4. Частная зоотехника, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства
- 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных
- 4.3. Агротехнология и пищевые технологии
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса
- 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса
- 5.2. Экономика
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика

Язык опубликования статей:
русский, английский

Форма распространения:
журнал выходит в печатном виде, электронная версия публикуется на сайте журнала



E-mail:
vestnik@kgsxa.ru



Телефон:
+7 (4942) 62-91-30,
доб. 4202

№1, март 2024

Кузьмичев Василий Витальевич, доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства, Костромская ГСХА

Лаврентьев Анатолий Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой общей и частной зоотехнии, Чувашский ГАУ

Ларина Татьяна Николаевна, доктор экономических наук, доцент, Оренбургский ГАУ

Максимов Иван Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский ГАУ

Мирзоянц Юрий Ашотович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в АПК, Костромская ГСХА

Ногойбаев Мукамбет Дайирович, доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры внутренних болезней животных, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина

Пашин Евгений Львович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в АПК, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники за 2005, 2011 гг., Костромская ГСХА

Пестис Витольд Казимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси

Позднякова Вера Филипповна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, Костромская ГСХА

Пронин Валерий Васильевич, доктор биологических наук, профессор, руководитель центра доклинических исследований, Федеральный центр охраны здоровья животных, профессор кафедры морфологии, физиологии и ветсанэкспертизы, Верхневолжский ГАУ

Ростовцев Роман Анатольевич, доктор технических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный научный центр лубяных культур

Семенов Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Чувашский ГАУ

Середа Надежда Александровна, доктор экономических наук, профессор, декан экономического факультета, Костромская ГСХА

Соловьева Любовь Павловна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры анатомии и физиологии животных, заслуженный работник высшей школы РФ, Костромская ГСХА

Стекольников Анатолий Александрович, доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой общей и частной хирургии имени Шакалова К.И., Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины

Титунин Андрей Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии, организации и экономики строительства, Костромская ГСХА

Тургунбаев Кубанычбек Токтоназарович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесоводства и плодородия, Кыргызский национальный аграрный университет имени К. И. Скрябина

Федосеева Наталья Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой зоотехнии, производства и переработки продукции животноводства, Российский государственный аграрный заочный университет

Черников Виктор Григорьевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник лаборатории агроинженерных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур

Чутчева Юлия Васильевна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Чухланов Владимир Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химии, Институт биологии и экологии, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых



Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region

Scientific and practical journal

Editor-in-Chief

Volkhonov Mikhail Stanislavovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Inventor of the Kostroma region, Rector of the Kostroma State Agricultural Academy

Members of the Editorial Board

Azhibekov Asanbek Sarmashaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department Technologies for the production of livestock products named after M.N. Lushchikhin, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Scriabin

Arbaev Kuban Sultanovich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Histology and Pathology of the Faculty of Veterinary Medicine and Biotechnology, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Scriabin

Asanaliyev Abdybek Zheksheevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Acting Professor of the Department of Crop Production and Plant Protection, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Scriabin

Baranova Nadezhda Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding and Genetics, Honoured Worker of the Agroindustrial Complex of Russia, Kostroma State Agricultural Academy

Belov Alexander Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Chief Research Scientist, Federal Scientific Agroengineering Center (VIM)

Borodiy Sergey Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agriculture, Plant Growing and Breeding, Kostroma State Agricultural Academy

Burdeyny Vasily Vladimirovich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Epizootology, Parasitology and Microbiology, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Kostroma State Agricultural Academy

Vatnikov Yury Anatolyevich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of the Department of Veterinary Medicine of the Agrarian Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)

Vinogradov Alexander Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Research Scientist of the Laboratory of Power Supply, Federal Scientific Agroengineering Center (VIM)

Vinogradov Dmitry Valerievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy, Agrochemistry and Plant Protection, Advisor to the Rector's Office, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev

Vinogradova Vera Sergeevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agrochemistry, Biology and Plant Protection, Kostroma State Agricultural Academy

Evdokimov Nikolay Vitalievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of General and Private Animal Science, Chuvash State Agrarian University

Egorov Sergey Vladimirovich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Infectious Diseases named after academician of the Russian Academy of Agricultural Sciences Yu. F. Petrov, Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology

Zdumaeva Natalya Petrovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Animal Anatomy and Physiology, Kostroma State Agricultural Academy

Zintsov Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Honored Inventor of the Kostroma Region, Kostroma State Agricultural Academy

Kochueva Natalya Anatolyevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Internal Non-Contagious Diseases, Surgery and Obstetrics, Corresponding Member of Petrovskaya Academy of Sciences and Arts ((PASA), Kostroma State Agricultural Academy

ISSN 2712-8679
Code DOI:
10.52025/2712-8679

**Founder,
publisher and editorial
board:**

Federal State
Budgetary Educational
Institution of Higher
Education «Kostroma
State Agricultural
Academy»

**Address of the founder,
publisher
and editorial office:**

Russia, Kostroma region,
Kostroma district, Karavaevo,
Training Campus, 34, 156530,
Kostroma State Agricultural
Academy

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

*Registry entry
of registration
of mass media*

ПИ №ФС77-80262
dated January 19, 2021

The journal is included in the
RSCI (Russian Science Citation
Index) on the National
Electronic Library eLIBRARY
platform

16+

*The journal has been published
since 2021*

Periodicity
4 issues per year



**List of specialty groups
and specialties for which
articles are accepted
for publication in the scientific
journal**

- 1.5. Biological sciences
 - 1.5.17. Parasitology
- 2.1. Construction and architecture
 - 2.1.5. Building materials and products
- 4.1. Agronomy, forestry and water management
 - 4.1.1. General Agriculture and Crop Production
 - 4.2. Animal science and veterinary medicine
 - 4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology
 - 4.2.3. Infectious diseases and animal immunology
 - 4.2.4. Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products
 - 4.2.5. Breeding, selection, genetics and biotechnology of animals
 - 4.3. Agroengineering and food technologies
 - 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for agroindustrial complex
 - 4.3.2. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of the agro-industrial complex
 - 5.2. Economics
 - 5.2.3. Regional and sectoral economics

**The language
of publications:**
Russian, English

Distribution form:
the journal is published
in printed form
The electronic version
is published in the
journal's website



E-mail:
vestnik@kgsxa.ru



Tel.:
+7 (4942) 62-91-30,
additional number:
4202

№1, March 2024

Kryuchkova Elena Nikolaevna, Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Infectious and Parasitic Diseases named after academicians of the Russian Academy of Agricultural Sciences Yu. F. Petrov, Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology

Kuzmichev Vasily Vitalievich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Internal Non-Contagious Diseases, Surgery and Obstetrics, Kostroma State Agricultural Academy

Laurentiev Anatoly Yurievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of General and Private Animal Science, Chuvash State Agrarian University

Larina Tatyana Nikolaevna, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Statistics and Econometrics, Orenburg State University

Maksimov Ivan Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University

Mirzoyants Yuri Ashotovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in the Agroindustrial Complex, Kostroma State Agricultural Academy

Nogoibaev Mukambet Dayirovich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Internal Animal Diseases, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Scriabin

Pashin Evgeny Lvovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in the Agroindustrial Complex, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology for 2005, 2011, Kostroma State Agricultural Academy

Pestis Vitold Kazimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus

Pozdnyakova Vera Filippovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Small Animal Science, Breeding and Genetics, Kostroma State Agricultural Academy

Pronin Valery Vasilyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Preclinical Research Center, Federal Center for Animal Health, Professor of the Department of Morphology, Physiology and Veterinary Sanitary Expertise, Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnology

Rostovtsev Roman Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Federal Scientific Center for Bast Crops

Semenov Vladimir Grigoryevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University

Sereda Nadezhda Alexandrovna, Doctor of Economics, Professor, Dean of the Faculty of Economics, Kostroma State Agricultural Academy

Solovieva Lyubov Pavlovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Animal Anatomy and Physiology, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Kostroma State Agricultural Academy

Stekolnikov Anatoly Alexandrovich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of General and Private Surgery named after K.I. Shakalov, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

Titunin Andrey Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technology, Organization and Economics of Construction, Kostroma State Agricultural Academy

Turgunbaev Kubanychbek Toktonazarovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Forestry and Fruit Growing, Kyrgyz National Agrarian University after K. I. Scriabin

Fedoseeva Natalya Anatolyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Science, Production and Processing of Livestock Products, Russian State Agrarian Correspondence University

Chernikov Viktor Grigorievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Agroengineering Technologies, Federal Scientific Center for Bast Crops

Chutcheva Yuliya Vasilievna, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Economics, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Chukhlanov Vladimir Yurievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Chemistry, Institute of Biology and Ecology, Vladimir State University named after Alexander G. and Nikolay G. Stoletovs



СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО	
С. А. Бородий ИМИТАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ФИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТИВНОГО ПОБЕГА ИВАН-ЧАЯ УЗКОЛИСТНОГО (<i>CHAMERION ANGUSTIFOLIUM</i> (L.) NOLUB.) В ДИКОРАСТУЩЕЙ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ.....	6
С. А. Бородий, В. С. Виноградова РОСТОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ЛЮБАВА НА ФОНЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ.....	17
В. С. Виноградова, С. В. Иванов, Е. А. Вилочкина НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА.....	28
П. А. Котьяк, С. А. Галицкая ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ.....	34
ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ	
И. А. Анискин, Н. П. Буряков ПРОДУКТИВНОСТЬ, БАЛАНС АЗОТА И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У КОРОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ В РАЦИОН РАЗНОГО УРОВНЯ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО РАПСОВОГО ШРОТА.....	42
Н. М. Виноградова, Т. Автаева, М. А. Прохоров, Н. Е. Горностаев, Н. П. Здюмаева ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ОТДЕЛЬНЫХ БИОХИМИЧЕСКИХ И ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРОВЫ.....	49
Ж. В. Кошак, А. Н. Гринько, Д. Е. Алешин, Н. П. Буряков АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ БЕЛКА В КОРМЛЕНИИ РЫБЫ.....	54
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
А. Н. Зинцов, М. М. Билан, В. С. Шевченко, В. А. Добрецов РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВСПУШИВАНИЯ ЛЕНТЫ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА.....	63
Н. А. Климов, А. Г. Тихомиров, С. А. Климов ОБОБЩЕННЫЕ КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СЕТИ 10 КВ С ТРЕХОБМОТОЧНЫМ ПИТАЮЩИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ И КООРДИНАТАХ ТРЕХ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ.....	71



АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья

УДК 633.8

doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_6

ИМИТАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ФИТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТИВНОГО ПОБЕГА ИВАН-ЧАЯ УЗКОЛИСТНОГО (*CHAMERION ANGUSTIFOLIUM* (L.) Holub.) В ДИКОРАСТУЩЕЙ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ

Сергей Алексеевич Бородий

Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

borody.sergei@yandex.ru

Аннотация. Предмет исследования – дикорастущая ценопопуляция иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в Костромской области. Цель – разработать имитационно-динамическую модель сезонного прогноза фитометрических параметров генеративного побега иван-чая узколистного для прогнозирования урожайности дикорастущих ценопопуляций. Исследования проводили в период 2014–2015 гг. (сбор полевой информации) и 2023 гг. (сбор полевой информации и разработка модели прогноза). Разработанные модели обеспечивают точность прогноза динамики ростовых процессов генеративного побега иван-чая узколистного: высота побега – 97,53–97,93%, наземная активная фитомасса (влажность 13%) – 91,71–98,82%, масса листьев и стебля до фазы бутонизации – 73,40–98,81% и 96,78–98,37 соответственно, цветков – 91,53%, плодов – 99,71%, что обуславливает возможность использования модели для прогноза урожайности лекарственного сырья дикорастущих ценопопуляций за 50–60 суток до начала промышленной заготовки.

Ключевые слова: иван-чай узколистный, *Chamerion angustifolium*, прогноз наземной массы, прогноз массы фитоорганов, продуктивность побега, прогноз продуктивности, математическая имитационно-динамическая модель

Для цитирования: Бородий С. А. Имитационно-динамическая модель прогноза фитометрических параметров генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 6–16.

SIMULATION-DYNAMIC MODEL FOR THE PREDICTION OF PHYTOMETRIC PARAMETERS OF GENERATIVE SHOOTS OF FIREWEED (*CHAMERION ANGUSTIFOLIUM* (L.) Holub.) IN A WILD COENOPOPULATION

Sergey A. Borodiy

Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

borody.sergei@yandex.ru

Annotation. The subject of the study is a wild cenopopulation of fireweed (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) in the Kostroma region. The goal is to develop a simulation-dynamic model for seasonal forecasting of phytometric parameters of the generative shoots of angustifolia fireweed to predict the yield of wild coenopopulations. The studies were carried out in the period 2014–2015. (collection of field information) and 2023 (collection of field information and development of a forecast model). The developed models provide accuracy in predicting the dynamics of growth processes in the generative shoot of willowherb angustifolia: shoot height – 97.53–97.93%, above-ground active phytomass (humidity 13%) – 91.71–98.82%, leaf and stem mass up to budding phases – 73.40–98.81% and 96.78–98.37, respectively, flowers – 91.53%, fruits – 99.71%, which makes it possible to use the model to predict the yield of medicinal raw materials of wild coenopopulations for 50–60 days before the start of industrial procurement.

Key words: narrow-leaved fireweed, *Chamerion angustifolium*, ground mass forecast, phytoorgan mass forecast, shoot productivity, productivity forecast, mathematical simulation-dynamic model

For citation: Borodiy S. A. Simulation-dynamic model for predicting the phytometric parameters of the generative shoot of fireweed (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) in a wild cenopopulation // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. №1 (13). Pp. 6–16.

Введение

Ареал распространения иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub. [*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.]), или

кипрея узколистного (*Epilobium angustifolium* (L.)), приурочен к северному полушарию, а в России – по всей зоне лесов [1]. Этот вид не включен в Государственную фармако-



пею РФ [2], но применяется в неофициальной медицине, поскольку трава и листья обладают вяжущим, кровоостанавливающим, ранозаживляющим, легким слабительным и слабым усыпляющим свойствами [3, 4]. Листья содержат от 10 до 20% танина пирогалловой группы, витамин С, хлорофилл, до 15% слизи, сахар, пектин. В семенах содержится до 45% масел. Иван-чай является медоносным растением, сбор меда – до 500 кг/га [1], корни содержат большое количество крахмала и дубильных веществ, их можно использовать для приготовления муки, выпечки хлеба, а поджаренные корни – как суррогат кофе. Листья применяются как суррогат чая [3, 5].

По содержанию протеина (17-18% от сухого вещества), количеству и составу аминокислот иван-чай не уступает клеверу луговому и козлятнику восточному, а по содержанию сахара (10% от сухого вещества) превосходит их в 1,3-1,9 раза. Разработана технология возделывания иван-чая в культуре для получения до 35,3 т/га зеленой массы, используемой в смеси с традиционными бобовыми травами (козлятник, люцерна и др.) для приготовления силоса [6].

Следовательно, растение является перспективным для медицины, ветеринарной медицины, пищевой промышленности, кормопроизводства. Однако производственные плантации иван-чая в Костромской области отсутствуют, сырье заготавливают в дикорастущих ценопопуляциях. Организация заготовительных работ подразумевает прогноз календарных сроков, нормы и объема сбора сырья, поэтому цель исследования – разработать имитационно-динамическую модель сезонного прогноза фитометрических параметров генеративного побега иван-чая узколистного для прогнозирования урожайности дикорастущих ценопопуляций.

Материал и методы исследования

Исследования проводили в период 2014-2015 гг. (сбор полевой информации) и 2023 г. (сбор полевой информации и разработка модели прогноза).

Стационарная дикорастущая ценопопуляция расположена в окрестностях д. Руболдино (Костромской район, Костромская область).

Фитометрические параметры (высота, наземная активная (фотосинтезирующая) фитомасса, масса листьев, стебля, цветков и плодов) побега дикорастущей ценопопуляции учитывали на протяжении периода вегетации с интервалом 7 суток методом выбор-

ки 10 побегов. Побеги срезали на уровне почвы, измеряли высоту, отмечали фенологическую фазу. Для измерения массы отделили фитоорганы и после сушки до стандартной влажности (13%) взвешивали.

Параметром времени для разработки модели являлась суммарная энтальпия воздуха, рассчитывавшаяся на весенне-летний период текущего года по оригинальной методике авторов [7, 8]. Статистическая обработка результатов полевых учетов и расчет уравнений для модели прогноза выполнены в табличном процессоре Excel.

Результаты исследований

Динамика высоты побега. Весеннее возобновление вегетации начиналось сразу после схода снежного покрова. Высота побега стабильно возрастала до созревания и рассеивания семян в верхней части соцветия, что обусловлено продолжительным периодом цветения (рис. 1). В этот период наблюдалось одновременное присутствие в соцветии бутонов, цветков, формирующихся, созревших и рассеивающих семена плодов. Максимальная высота побега в период исследований достигала, в среднем, 135-145 см.

Интенсивность роста подчинялась логарифмической зависимости и аппроксимирована, по эмпирическим данным 2023 года, следующим уравнением:

$$h_g = 77,052 \cdot \ln \cdot C_p - 488,59 \quad (1)$$

$$(730,0 \leq C_p \leq 4400,0 \text{ КДж/кг}),$$

где h_g – высота генеративного побега, см;
 C_p – суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг.

Точность аппроксимации составляла 97,71%.

Для придания модели прогноза динамичности мы ввели поправочный коэффициент h'_g , представляющий собой разницу между эмпирической hf_g и рассчитанной по уравнению (1) высотой побега от календарной даты схода снежного покрова до даты учета на эксплутационном участке заросли иван-чая:

$$h'_g = (f(C_p)) + h'_g \quad (2)$$

$$h'_g = hf_g - (f(C_p)),$$

где $f(C_p)$ – уравнение динамики высоты генеративного побега (1);

$C_p f$ – суммарная энтальпия воздуха от календарной даты схода снежного покрова до даты учета.

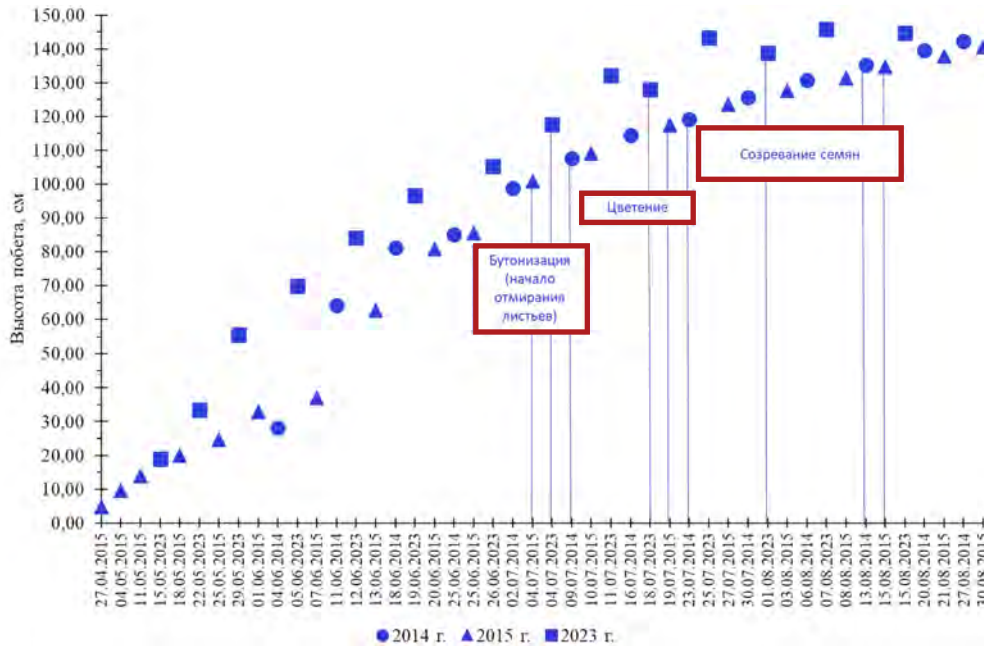


Рисунок 1 – Динамика высоты генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (orig.)

Проверка работы модели, проведенная по эмпирическим данным 2023 г. и независимым (не использованным при расчете уравнения (1) данным) 2014 и 2015 гг., показала точность прогноза в диапазоне 97,53–97,93%, что обуславливает ее практическое применение (табл. 1).

Динамика наземной активной фитомассы побега. Весеннее возобновление вегетации начиналось от полного схода снега, но процесс шел очень медленно вследствие редкого превышения температуры воздуха

выше +5°C. Интенсивное возрастание фитомассы наблюдалось в середине II декады мая и продолжалось до бутонизации (бутоны в нижней части соцветия приобретали розовую окраску) (рис. 2). До фазы созревания семян масса побега увеличивалась медленнее, а в 2023 году даже снижалась, что было вызвано отмиранием листьев нижнего и среднего ярусов. В этот период некоторые побеги ветвились в верхней части стебля, что обеспечило повторное незначительное увеличение наземной фитомассы.

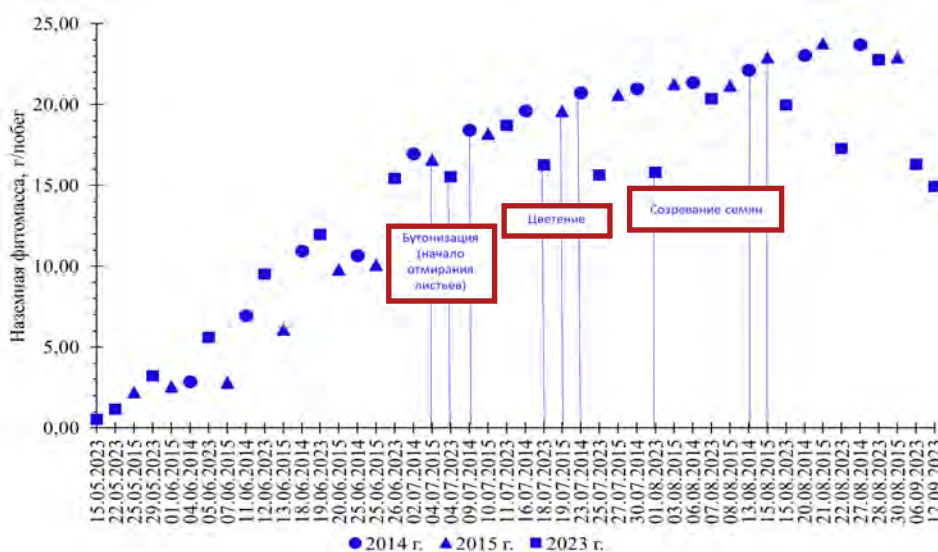


Рисунок 2 – Динамика наземной активной фитомассы (влажность 13%) генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (orig.)



Таблица 1 – Верификация модели прогноза высоты генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Высота побега, см	
		эмпирическая	прогнозируемая
2014 год			
11.06.2014	1626,14	64,20	64,20
18.06.2014	1829,05	81,20	73,26
25.06.2014	2042,27	85,10	81,76
02.07.2014	2262,17	98,90	89,64
09.07.2014	2542,48	107,70	98,64
16.07.2014	2827,02	114,50	106,81
23.07.2014	3100,87	119,10	113,94
30.07.2014	3412,76	125,60	121,32
06.08.2014	3763,80	130,80	128,86
13.08.2014	4109,06	135,20	135,63
20.08.2014	4407,71	139,60	141,03
27.08.2014	4656,46	142,20	145,26
R^2		0,9793	
2015 год			
01.06.2015	1116,13	32,90	32,90
07.06.2015	1316,97	37,00	45,65
13.06.2015	1488,79	62,60	55,10
20.06.2015	1743,97	80,80	67,29
25.06.2015	1993,59	85,50	77,60
04.07.2015	2378,97	100,80	91,21
10.07.2015	2589,77	108,90	97,75
19.07.2015	2892,44	117,40	106,27
27.07.2015	3212,34	123,40	114,35
03.08.2015	3525,46	127,60	121,52
08.08.2015	3724,94	131,30	125,76
15.08.2015	4003,95	134,60	131,33
21.08.2015	4185,71	137,70	134,75
30.08.2015	4512,68	140,50	140,54
R^2		0,9753	
2023 год			
15.05.2023	731,27	18,85	18,85
22.05.2023	964,94	33,50	40,22
29.05.2023	1223,84	55,50	58,53
05.06.2023	1439,11	69,79	71,01
12.06.2023	1632,52	84,22	80,73
19.06.2024	1867,17	96,64	91,08
26.06.2023	2098,17	105,25	100,07
04.07.2023	2426,43	117,67	111,27
11.07.2023	2735,73	132,10	120,51
18.07.2023	3020,11	128,05	128,13
25.07.2023	3303,50	143,29	135,04
01.08.2023	3638,33	138,76	142,48
07.08.2023	3971,40	145,74	149,23
15.08.2023	4395,07	144,59	157,04
R^2		0,9771	

Вследствие варьирования интенсивности нарастания фитомассы на протяжении периода вегетации динамика ее аппроксимиро-

вана по эмпирическим данным 2023 года следующей системой уравнений с точностью 98,79% ($R^2 = 0,9879$).

$$\begin{aligned} Ma &= 5E - 11 \cdot Cp^{3,5005} & (731,27 \leq Cp \leq 1867,16 \text{ КДж/кг}) & (R^2 = 0,9923) \\ Ma &= 15,559 \cdot \ln(Cp) - 104,73 & (1867,17 \leq Cp \leq 2735,72 \text{ КДж/кг}) & (R^2 = 0,8834) \\ Ma &= 37403 \cdot Cp^{-0,962} & (2735,73 \leq Cp \leq 3303,49 \text{ КДж/кг}) & (R^2 = 0,9193) \\ Ma &= 4,0887 \cdot e^{0,0004 \cdot Cp} & (3303,50 \leq Cp \leq 3971,39 \text{ КДж/кг}) & (R^2 = 0,7816) \\ Ma &= 96210 \cdot Cp^{-1,017} & (3971,40 \leq Cp \leq 5389,21 \text{ КДж/кг}) & (R^2 = 0,9166), \end{aligned} \quad (3)$$

где Ma – наземная активная фитомасса (13%-ной влажности), г/побег.

Сезонный прогноз наземной активной фитомассы рассчитывается по модели:

$$\begin{aligned} Ma &= f(Cp) + Ma' \\ Ma' &= Ma f - f(Cp f), \end{aligned} \quad (4)$$

где Ma' – корректирующий коэффициент, г/побег;

$Ma f$ – эмпирическая наземная активная фитомасса (13%-ной влажности) на календарную дату учёта, г/побег;

$Cp f$ – эмпирическая суммарная энтальпия воздуха от календарной даты схода снегового покрова до календарной даты учёта, КДж/кг;

$f(Cp)$ – функция динамики воздушно-сухой (13%) надземной активной фитомассы побега, рассчитанная по уравнениям (3).

Разработанная модель обеспечивала точность прогноза 88,85-98,79% на период вегетации иван-чая (табл. 2). Эксплуатацию зарослей на лекарственные цели целесообразно проводить до начала отмирания листьев, являющихся наиболее ценным сырьем. В этом случае точность прогноза составляла 91,71-98,82%, что свидетельствует о возможности его применения в практической деятельности.

Наземную активную фитомассу генеративного побега составляют листовые пластинки, стебель, цветы и плоды. Масса и доля (коэффициент) этих фитоорганов в общей наземной массе побега изменялась на протяжении периода вегетации. Уравнения, описывающие динамику коэффициентов, обеспечивают возможность расчета прогноза массы конкретного фитооргана без отделения его от побега, что значительно снижает затраты труда при большом количестве образцов и эксплуатационных участков, для которых составляется прогноз урожайности. С этой целью прогнозируемые значения надземной активной фитомассы побега Ma умножаются на прогнозируемый коэффици-

ент листьев Kl , стебля Ks , цветков Kg и плодов Kp , результатом является прогнозируемая масса листьев Ml , стебля Ms , цветков Mg и плодов Mp :

$$M(l, s, g, p) = Ma \cdot K(l, s, g, p). \quad (5)$$

Урожайность сырья иван-чая на эксплуатационном участке Y рассчитывается как произведение массы побега Ma (или фитооргана побега $M(l, s, g, p)$) на количество побегов на единице площади G и площадь ценопопуляции S :

$$Y = M(a, l, s, g, p) \cdot G \cdot S. \quad (6)$$

Динамика массы листьев побега. Весеннее возобновление вегетации наблюдалось в конце апреля-начале мая. Побег формировал большое количество листьев в верхнем ярусе, которые впоследствии отмирали (рис. 3).



Рисунок 3 – Генеративный побег иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в начале весеннего возобновления вегетации (ориг.)

Интенсивный рост листьев продолжался до начала июля, когда растение достигло фазы бутонизации. В эту фазу листья начали отмирать сначала в нижнем, а затем в среднем ярусах, что привело к замедлению увеличения их массы, а в дальнейшем – к нестабильности динамики в годы исследования. Так, в 2023 году наблюдалось быстрое отмирание фотосинтетически активной массы листьев от бутонизации до начала созревания семян. Однако многие побеги ветвились, что обусловило незначительное увеличение количества листьев генеративного побега (рис. 4).



Таблица 2 – Верификация модели прогноза воздушно-сухой (13%) массы фитоорганов генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Наземная активная фитомасса, г/побег		Масса листьев, г/побег		Масса стебля, г/побег		Масса цветков, г/побег		Масса плодов, г/побег	
		Э	П	Э	П	Э	П	Э	П	Э	П
2014 год											
04.06	1326,39	2,878	2,878	1,667	1,515	1,211	1,379	*	*	*	*
11.06	1626,14	6,956	7,316	3,316	4,021	2,856	3,286	*	*	*	*
18.06	1829,05	10,949	11,747	4,628	6,444	5,144	5,318	*	*	*	*
25.06	2042,27	10,683	12,471	4,425	6,480	5,462	5,876	*	*	*	*
02.07	2262,17	16,975	14,062	7,950	6,928	7,905	6,875	*	*	*	*
09.07	2542,48	18,430	15,880	8,320	7,336	8,530	8,099	*	*	*	*
16.07	2827,02	19,610	16,508	8,740	7,165	8,940	8,750	*	*	*	*
23.07	3100,87	20,740	14,985	9,080	6,140	9,210	8,213	*	*	*	*
30.07	3412,76	20,990	14,625	9,190	5,624	9,010	8,299	*	*	*	*
06.08	3763,80	21,390	17,039	9,320	6,113	8,950	10,017	*	*	*	*
13.08	4109,06	22,150	18,939	9,750	6,495	8,740	11,494	*	*	*	*
20.08	4407,71	23,060	17,539	10,030	6,483	8,320	10,918	*	*	*	*
27.08	4656,46	23,730	16,511	10,280	5,294	8,100	10,485	*	*	*	*
<i>R</i> ² (период вегетации)		0,8885		0,4128		0,8081		*		*	
<i>R</i> ² (до начала отмирания листьев)		0,9171		0,7340		0,9732					
2015 год											
25.05	809,78	2,207	2,207	1,221	1,038	0,986	1,172	*	*	*	*
01.06	1116,13	2,574	3,780	1,434	1,916	1,140	1,891	*	*	*	*
07.06	1316,97	2,785	5,608	1,574	2,948	1,211	2,693	*	*	*	*
13.06	1488,79	6,104	7,839	3,248	4,230	2,856	3,629	*	*	*	*
20.06	1743,97	9,806	12,566	4,592	7,050	5,214	5,591	*	*	*	*
25.06	1993,59	10,090	14,931	4,673	7,853	5,417	6,973	*	*	*	*
04.07	2378,97	16,586	17,681	7,910	8,477	7,840	8,804	*	*	*	*
10.07	2589,77	18,200	19,002	8,250	8,686	8,490	9,757	*	*	*	*
19.07	2892,44	19,600	18,954	8,690	8,113	9,020	10,130	*	*	*	*
27.07	3212,34	20,603	17,274	9,013	6,917	9,250	9,589	*	*	*	*
03.08	3525,46	21,260	18,199	9,240	6,842	9,340	10,449	*	*	*	*
08.08	3724,94	21,170	19,590	9,370	7,082	9,010	11,474	*	*	*	*
15.08	4003,95	22,900	22,317	9,690	7,544	8,950	13,418	*	*	*	*
21.08	4185,71	23,790	21,396	10,080	7,412	8,800	13,072	*	*	*	*
30.08	4512,68	22,920	19,927	10,310	6,947	7,000	12,511	*	*	*	*
<i>R</i> ² (период вегетации)		0,9333		0,6716		0,8628		*		*	
<i>R</i> ² (до начала отмирания листьев)		0,9332		0,8596		0,9678					
2023 год											
15.05	731,27	0,533	0,533	0,246	0,244	0,287	0,287				
22.05	964,94	1,148	1,403	0,562	0,688	0,586	0,723				
29.05	1223,84	3,226	3,220	1,645	1,666	1,581	1,576				
05.06	1439,11	5,593	5,676	3,001	3,041	2,592	2,656				
12.06	1632,52	9,504	8,825	5,267	5,105	4,237	3,834	0,000	0,002		
19.06	1867,17	11,967	12,466	6,518	6,771	5,435	5,685	0,014	0,015		
26.06	2098,17	15,427	14,281	8,173	7,318	7,177	6,794	0,077	0,073		
04.07	2426,43	15,540	16,542	7,591	7,845	7,479	8,295	0,470	0,537		
11.07	2735,73	18,729	18,471	8,009	8,177	10,222	9,674	0,498	0,494	0,000	0,000
18.07	3020,11	16,267	16,795	6,805	6,998	8,914	9,117	0,387	0,369	0,161	0,212
25.07	3303,50	15,645	15,330	5,939	6,026	8,841	8,597	0,440	0,271	0,425	0,410
01.08	3638,33	15,827	17,526	5,836	6,444	9,071	10,178	0,215	0,228	0,705	0,763
07.08	3971,40	20,360	21,045	6,859	7,081	12,199	12,615	0,083	0,078	1,219	1,266
15.08	4395,07	19,981	18,984	7,114	7,066	12,493	11,805	0,374	0,349	0,000	0,000
22.08	4696,63	17,293	17,745	5,593	5,553	11,441	11,620	0,259	0,260		
28.08	4878,63	16,798	17,072	6,570	4,763	16,016	11,801	0,173	0,176		
06.09	5216,55	16,303	15,948	3,637	3,496	12,644	12,102	0,000	0,044		
12.09	5389,21	14,929	15,429	2,599	2,933	12,330	12,240				
<i>R</i> ² (период вегетации)		0,9879		0,9562		0,9468		0,9153		0,9971	
<i>R</i> ² (до начала отмирания листьев)		0,9882		0,9881		0,9837					

Примечание: Э – эмпирические значения; П – прогнозируемые значения; * – нет данных.

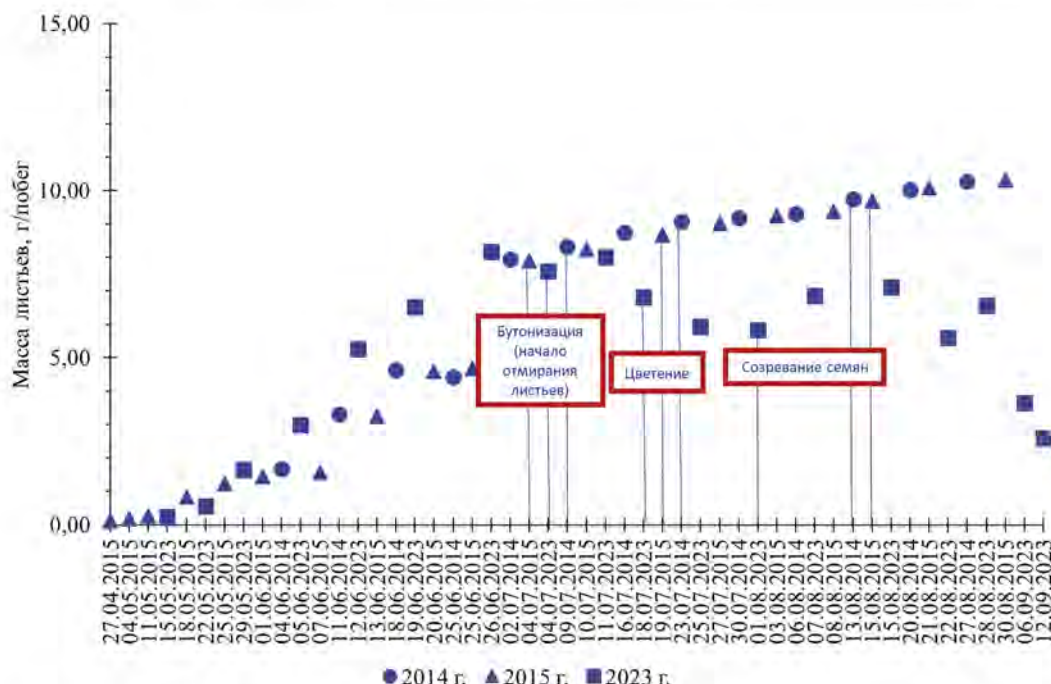


Рисунок 4 – Динамика воздушно-сухой (13%) массы листьев генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

В соответствии с вышеизложенным, коэффициент листьев в общей наземной массе побега возрастал до середины июня, а затем равномер-

но снижался. Динамика этого процесса аппроксимирована, по данным 2023 года, следующей системой уравнений с точностью 98,97%:

$$\begin{aligned}
 Kl &= 0,1138 \cdot Ln(Cp) - 0,2918 & (731,30 \leq Cp \leq 1632,51 \text{ КДж/кг}) \\
 Kl &= -0,2630 \cdot Ln(Cp) + 2,5241 & (1632,52 \leq Cp \leq 3971,39 \text{ КДж/кг}) \\
 Kl &= 0,1889 \cdot Ln(Cp) - 1,2289 & (3971,40 \leq Cp \leq 4395,06 \text{ КДж/кг}) \\
 Kl &= -0,8930 \cdot Ln(Cp) + 7,8629 & (4395,07 \leq Cp \leq 5389,21 \text{ КДж/кг}),
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где Kl – коэффициент массы листьев побега (13%-ной влажности);
 Cp – суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг.

Прогноз массы листьев по прогнозируемым значениям наземной фитомассы (5) соответствовал эмпирическим данным на 41,27-95,62% для всего периода вегетации и на 73,40-98,81% до фазы бутонизации (см. табл. 2). Поскольку сбор листьев целесообразно проводить до бутонизации, точность

работы модели прогноза массы листьев была достаточной для практического применения.

Динамика массы стебля. Масса стебля интенсивно возрастала до фазы бутонизации, далее замедлялась и при полном созревании и рассеивании семян наблюдалось отмирание стебля сверху вниз (рис. 5). Тем не менее, вследствие отмирания листьев, доля стебля в наземной массе равномерно возрастала к концу вегетации и, по данным 2023 года, с точностью 99,23% была описана системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 Ks &= -0,0001 \cdot Cp + 0,61180 & (731,27 \leq Cp \leq 1632,51 \text{ КДж/кг}) \\
 Ks &= 0,0298 \cdot Cp^{0,3622} & (1632,52 \leq Cp \leq 4696,62 \text{ КДж/кг}) \\
 Ks &= 0,0002 \cdot Cp - 0,2845 & (4696,63 \leq Cp \leq 5389,21 \text{ КДж/кг}),
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где Ks – коэффициент массы стебля побега (13%-ной влажности);

Cp – суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг.

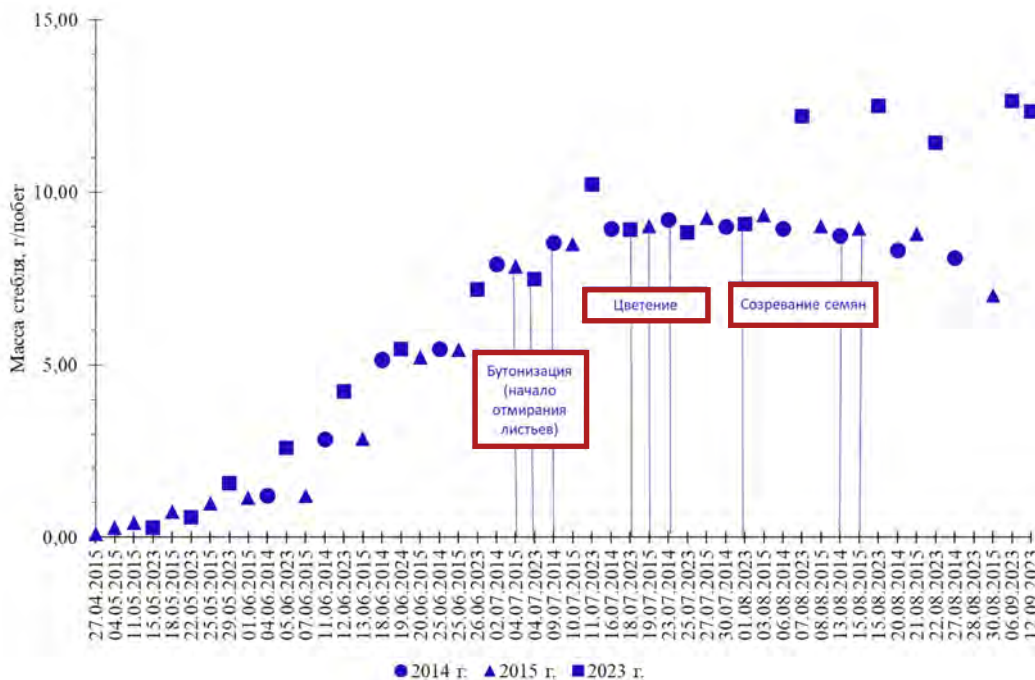


Рисунок 5 – Динамика воздушно-сухой (13%) массы стебля генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Расчитанный по модели (5) прогноз динамики массы стебля совпадал с эмпирическими данными на 80,81-94,68% для периода вегетации, а до фазы бутонизации – 96,78-98,37 (см. табл. 2).

Динамика массы цветков. Масса цветков достигала максимума в II-III декадах июля, когда распускались цветки центрального соцветия и в середине августа, когда цвели побеги ветвления (рис. 6).

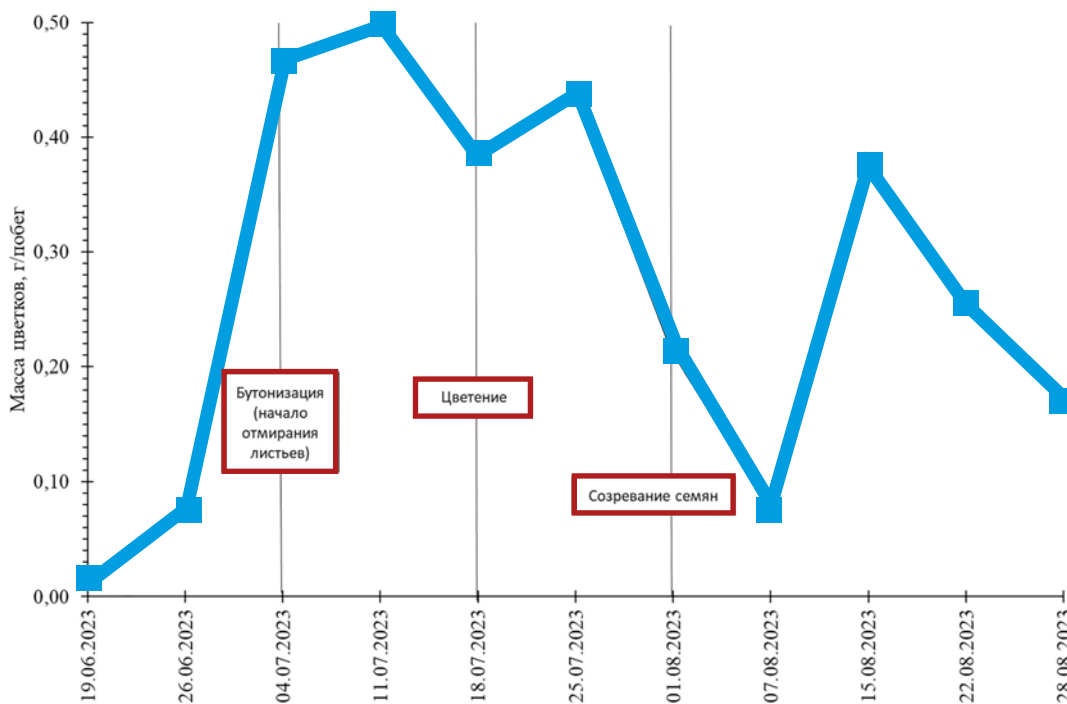


Рисунок 6 – Динамика воздушно-сухой (13%) массы цветков генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Система уравнений описывала этот процесс с точностью 91,52%:

$$\begin{aligned} Kg &= 3E - 44 \cdot Cp^{12,4130} & (1632,52 \leq Cp \leq 2426,42 \text{ КДж/кг}) \\ Kg &= -0,0480 \cdot \ln(Cp) + 0,4066 & (2426,43 \leq Cp \leq 3971,39 \text{ КДж/кг}) \\ Kg &= 0,1444 \cdot \ln(Cp) - 1,1929 & (3971,40 \leq Cp \leq 4696,62 \text{ КДж/кг}) \\ Kg &= -0,1130 \cdot \ln(Cp) + 0,9700 & (4696,63 \leq Cp \leq 5216,55 \text{ КДж/кг}), \end{aligned} \quad (9)$$

где Kg – коэффициент массы цветков побега (13%-ной влажности);
 Cp – суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг.

соответствовала эмпирическим данным на 91,53% (см. табл. 2).

Динамика массы плодов. Формирование плодов и семян началось во II декаде июля и достигало максимума в I декаде августа (рис. 7).

Верификация прогноза динамики массы цветков, рассчитанного по модели (5),

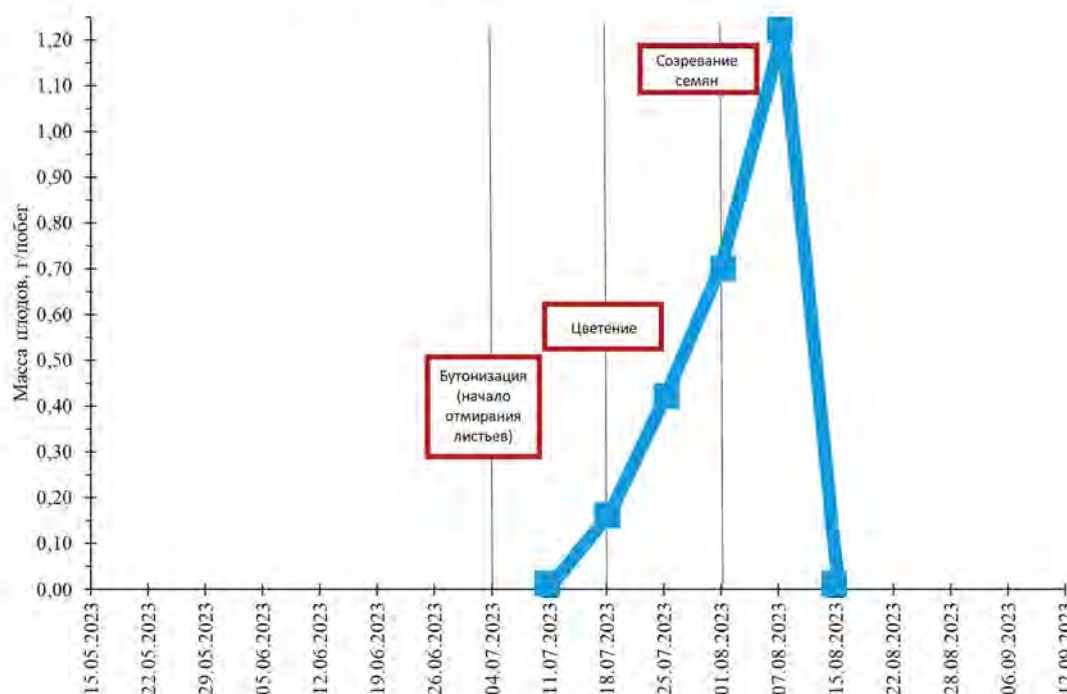


Рисунок 7 – Динамика воздушно-сухой (13%) массы плодов генеративного побега иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Эмпирические данные для расчета уравнений, описывающих динамику коэффициента массы плодов, не включали полностью

созревшие и рассеивающие семена плоды. Точность аппроксимации Kp составляла 99,75%:

$$\begin{aligned} Kp &= 5E - 0,5 \cdot Cp - 0,1384 & (2735,73 \leq Cp \leq 3971,40 \text{ КДж/кг}) \\ Kp &= -0,5910 \cdot \ln(Cp) + 4,9546 & (3971,41 \leq Cp \leq 4395,07 \text{ КДж/кг}), \end{aligned} \quad (10)$$

где Kp – коэффициент массы плодов побега (13%-ной влажности);
 Cp – суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг.

Верификация прогноза массы формирующихся и созревающих плодов показала точность работы модели (5) на уровне 99,71% (см. табл. 2).



Заключение

Разработанные модели сезонного прогноза динамики ростовых процессов генеративного побега иван-чая узколистного работали с точностью: высота побега – 97,53-97,93%, наземная активная фитомасса (влажность 13%) – 91,71-98,82%, масса листьев и стебля

до фазы бутонизации – 73,40-98,81 и 96,78-98,37% соответственно, цветков – 91,53%, плодов – 99,71%, что обуславливает возможность использования модели для прогноза урожайности лекарственного сырья дикорастущих ценопопуляций за 50-60 суток до начала промышленной заготовки.

Список литературы

1. Губанов И. А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Текст : непосредственный / И. А. Губанов, К. В. Киселёва, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. Том 2: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). М. : Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. 665 с.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. Текст : непосредственный. XIV издание. Т. IV. М., 2018. 1833 с.
3. Махлаук В. П. Лекарственные растения в народной медицине. Текст : непосредственный. Саратов : Приволж. кн. изд-во, 1993. 544 с.
4. Нуралиев Ю. Н. Лекарственные растения: Целебные свойства фруктов и овощей: из опыта народной, древневосточной и современной медицины. Текст : непосредственный. 3-е изд., дополн. Нижний Новгород : СП «ИКПА», Нижегородский филиал, 1991. 288 с.
5. Белозёров П. И. Флора Костромской области : монография. Текст : непосредственный / отв. ред. В. В. Шутов, Г. Ю. Макеева. Кострома : Изд-во КГТУ, 2008. 197 с.
6. Старковский Б. Н. Разработка агроприемов при возделывании кипрея узколистного на кормовые цели. Текст : непосредственный : дисс. канд. сельск. наук. Вологда, 2003. 157 с.
7. Бородий С. А., Бородий П. С. Прогноз фенологических стадий развития пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в дикорастущих ценопопуляциях. Текст : непосредственный / Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Выпуск 86. Кострома : Костромская ГСХА, 2017. С. 5–11.
8. Агроэкологическое обоснование технологии возделывания пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в Костромской области : монография. Текст : непосредственный / С. А. Бородий, В. С. Виноградова, П. С. Бородий. Караваево : Костромская ГСХА, 2019. 156 с.

References

1. Gubanov I. A. Illyustrirovannyj opredelitel' rastenij Srednej Rossii. Tekst : neposredstvennyj / I. A. Gubanov, K. V. Kiselyova, V. S. Novikov, V. N. Tihomirov. Tom 2: Pokrytosemennye (dvudol'nye: razdel'nolepestnye). M. : T-vo nauchnyh izdaniy KMK, In-t tekhnologicheskikh issledovaniy, 2003. 665 s.
2. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii. Tekst : neposredstvennyj. XIV izdanie. T. IV. M., 2018. 1833 s.
3. Mahlayuk V. P. Lekarstvennye rasteniya v narodnoj medicine. Tekst : neposredstvennyj. Saratov : Privolzh. kn. izd-vo, 1993. 544 s.
4. Nuraliev Yu. N. Lekarstvennye rasteniya: Celebnye svojstva fruktov i ovoshchej: iz opyta narodnoj, drevnevostochnoj i sovremennoj mediciny. Tekst : neposredstvennyj. 3-e izd., dopoln. Nizhnij Novgorod : SP «IKPA», Nizhegorodskij filial, 1991. 288 s.
5. Belozyorov P. I. Flora Kostromskoj oblasti : monografiya. Tekst : neposredstvennyj / отв. red. V. V. Shutov, G. Yu. Makeeva. Kostroma : Izd-vo KGTU, 2008. 197 s.
6. Starkovskij B. N. Razrabotka agropriemov pri vozdelevanii kipreya uzkolistnogo na kormovye celi. Tekst : neposredstvennyj : diss. kand. sel'sk. nauk. Vologda, 2003. 157 s.



7. Borodij S. A., Borodij P. S. Prognoz fenologicheskikh stadij razvitiya pizhmy obyknovenoj (*Tanacetum vulgare* L.) v dikorastushchih cenopopulyacijah. Tekst : neposredstvennyj / Trudy Kostromskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. Vypusk 86. Kostroma : Kostromskaya GSKHA, 2017. S. 5–11.
8. Agroekologicheskoe obosnovanie tekhnologii vzdelyvaniya pizhmy obyknovenoj (*Tanacetum vulgare* L.) v Kostromskoj oblasti : monografiya. Tekst : neposredstvennyj / S. A. Borodij, V. S. Vinogradova, P. S. Borodij. Karavaevo : Kostromskaya GSKHA, 2019. 156 s.

Сведения об авторе

Сергей Алексеевич Бородий – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и селекции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the author

Sergey A. Borodiy – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agriculture, Plant Growing and Breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

© Бородий С.А., 2024

© Borodiy S.A., 2024



Научная статья

УДК 633.11

doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_17

РОСТОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ЛЮБАВА НА ФОНЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

Сергей Алексеевич Бородий¹, Вера Сергеевна Виноградова²^{1,2} Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия¹borody.sergei@yandex.ru²verochka_54@list.ru

Аннотация. Предмет исследования – яровая пшеница сорта Любава, возделываемая на фоне естественного плодородия почвы в Костромской области. Цель – разработать имитационно-динамическую модель сезонного прогноза роста и развития яровой пшеницы Любава для применения в производственных условиях. Исследования проводили в 1988-1990 гг. (динамика роста и развития яровой пшеницы сорта Энита, разработка и реализация компьютерной программы прогноза) и в 2023 г. (сбор полевой информации и разработка модели прогноза для сорта Любава). Установлена теплоемкость фенологических фаз развития яровой пшеницы сорта Любава, обеспечивающая возможность прогнозирования календарных сроков фенологических фаз развития от даты посева до уборочной спелости на основании прогноза тепловых ресурсов текущего года. Разработанные модели сезонного прогноза динамики ростовых процессов работали с точностью: высота растения – 99,65%, масса фитоорганов влажностью 13%: наземная активная фитомасса – 98,17%, листьев – 93,20%, стебля – 98,08%, элементов колоса – 96,50%, плодов – 99,64%. Для практического применения моделей в производственных условиях предлагается алгоритм сбора и обработки исходной информации, обеспечивающий возможность прогнозирования продуктивности и урожайности минимум за 80-90 суток до начала уборочных работ.

Ключевые слова: яровая пшеница, *Triticum aestivum*, прогноз фенологических фаз развития, математическая имитационно-динамическая модель, ростовая модель

Для цитирования: Бородий С. А., Виноградова В. С. Ростовая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы Любава на фоне естественного плодородия почвы // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 17-27.

GROWTH MODEL FORECASTING THE PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT LUBAVA ON THE BACKGROUND OF NATURAL SOIL FERTILITY

Sergey A. Borodiy¹, Vera S. Vinogradova²^{1,2} Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia¹borody.sergei@yandex.ru²verochka_54@list.ru

Abstract. The subject of the study is spring wheat of the Lyubava variety, cultivated against the background of natural soil fertility in the Kostroma region. The goal is to develop a dynamic simulation model for seasonal forecasting of the growth and development of spring wheat Lyubava for use in production conditions. The studies were carried out in 1988-1990. (dynamics of growth and development of spring wheat variety Enita, development and implementation of a computer forecast program) and in 2023 (collection of field information and development of a forecast model for the Lyubava variety). The heat capacity of the phenological phases of development of the spring wheat variety Lyubava has been established, which makes it possible to predict the calendar dates of the phenological phases of development from the date of sowing to harvest ripeness based on the forecast of the thermal resources of the current year. The developed models for seasonal forecasting of the dynamics of growth processes worked with accuracy: plant height – 99.65%, mass of phytoorgans with a moisture content of 13%: ground active phytomass – 98.17%, leaves – 93.20%, stem – 98.08%, ear elements – 96.50%, fruits – 99.64%. For the practical application of models in production conditions, an algorithm for collecting and processing initial information is proposed, which provides the ability to predict productivity and yield at least 80-90 days before the start of harvesting work.

Keywords: spring wheat, *Triticum aestivum*, forecast of phenological phases of development, mathematical simulation-dynamic model, growth model

For citation: Borodiy S. A., Vinogradova V. S. Growth model forecasting the productivity of spring wheat Lubava on the background of natural soil fertility // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. №1 (13). Pp. 17-27.

Введение

Яровая пшеница является одной из главных зерновых культур в мировом сельскохозяйственном производстве, что объясняет многочисленные эксперименты и рекомендации по возделыванию этой культуры в производствен-

ных условиях. Для планирования урожайности существуют методики, основанные на расчете по заданным значениям параметров структуры урожая (количеству растений на единице площади, степени кущения, количестве зерен в колосе, массы 1000 зерен и др.) [1].

Однако в практическом применении не всегда получается обеспечить приближение параметров посева к заданным, что объясняет погрешность расчетов.

В предлагаемой работе приводится методика прогноза урожайности пшеницы по ростовым моделям, основанным на значении входных параметров, полученных в ранние фазы развития растения, и прогнозируемых тепловых ресурсов периода вегетации текущего года.

Цель исследования – разработать имитационно-динамическую модель сезонного прогноза роста и развития яровой пшеницы Любава для применения в производственных условиях.

Материал и методы исследования

Исследования проводили в 2023 г. на опытном поле ФГБОУ ВО Костромской ГСХА (сбор полевой информации и разработка модели прогноза яровой пшеницы сорта Любава). Для сравнения точности прогноза фенологических фаз развития применяли компьютерную программу, разработанную нами в 1988-1990 гг. для яровой пшеницы сорта Энита [2, 3].

Яровая пшеница Любава была посеяна на фоне естественного плодородия почвы 6 мая 2023 года. Почва участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, pH 4,86, содержание гумуса – 1,74%, подвижного фосфора – 182 мг/кг, обменного калия – 73 мг/кг, Ca – 3,99 моль/100г, Mg – 0,56 моль/100г. Технология возделывания – общепринятая для Костромской области. Предшественник – лен-долгунец, основная обработка почвы – зяблевая вспашка на глубину 20,0-22,0 см, предпосевная культивация с выравниванием и прикатыванием на глубину – 4,0-5,0 см, норма высева – 4,5 млн всхожих семян/га на глубину 4,0-5,0 см. Для защиты растений от сорняков применялся гербицид «Агритокс» (0,9 л/га) в фазу начала кущения.

Фенологические фазы развития регистрировали по методике [4].

Учет динамики наземной фитомассы проводили с интервалом 7 суток от всходов до твердой спелости зерновки. Единичная учетная выборка состояла из десяти растений. Измеряли высоту центрального стебля, раз-

деляли наземную часть растения на отдельные фитоорганы, которые сушили до влажности 13% и взвешивали.

Параметром времени в моделях является суммарная энтальпия воздуха (СЭВ), прогноз которой на текущий год совпадает с эмпирическими данными – на 99,0-99,50% [5, 6, 7].

Статистическая обработка усредненных на одно растение данных (аппроксимация, расчет и верификация моделей) выполнена при помощи пакета анализа табличного процессора Excell по эмпирическим данным 2023 года.

Результаты исследования

Динамика фенологических фаз развития.

Суммарная энтальпия воздуха, а следовательно, теплоемкость фенологических фаз развития пшеницы сорта Любава, полученная в результате наблюдений 2023 г., представлена в таблице 1. Ранее, в период 1988-1990 гг., мы изучали динамику развития яровой пшеницы сорта Энита, получив данные теплоемкости фенофаз [2] и разработав компьютерную программу прогноза [3].

Результат виртуального эксперимента прогноза календарных сроков динамики фенофаз сорта Энита совпадал с эмпирическими сроками сорта Любава на 97,97% (см. табл. 1), что свидетельствует о возможности применения прогноза и для других, особенно новых, сортов яровой пшеницы. Пока нет данных, полученных эмпирическим путем, поскольку отклонение расчетных сроков для сорта Энита от эмпирических для сорта Любава варьировало в диапазоне –7...+6 суток.

Динамика высоты растения. Динамика высоты пшеницы изменялась по близкой к логарифмической зависимости, что характерно и для других растений семейства мятликовые (*Poaceae*) [6]. До фазы колошения наблюдалось монотонное возрастание высоты растения (рис. 1). Интенсивный рост продолжался от колошения до цветения. До формирования зерновки рост замедлялся и к фазе молочной спелости растение достигало максимальной высоты, которая уже не изменялась вплоть до созревания плодов.

Это процесс описывался системой уравнений с точностью 99,65%:

$$\begin{aligned} h &= 0,0201 \cdot Cp^{1,0195} \quad (315,5 \leq Cp \leq 1438,95 \text{ КДж/кг}) \\ h &= 0,0674 \cdot Cp - 74,8850 \quad (1438,96 \leq Cp \leq 1716,27 \text{ КДж/кг}) \\ h &= 30,5070 \cdot \ln(Cp) - 173,4600 \quad (1716,28 \leq Cp \leq 2560,82 \text{ КДж/кг}), \end{aligned} \quad (1)$$

где h – высота растения, см;

Cp – суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг.



Таблица 1 – Теплоемкость фенологических фаз развития яровой пшеницы, 2023 г.

Фаза развития	Любава, 2023 г.		Энита, ср. 1988-1990 г. [2]		
	Календарная дата фазы развития	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Теплоемкость фазы развития, кДж/кг	Прогноз календарной даты фазы развития на 2023 г.	Отклонение от прогноза календарной даты фазы развития сорта Любава
Посев	06.05.2023	0,00	–	06.05.20231	–
Всходы	14.05.2023	159,59	*	*	*
1-й лист	19.05.2023	315,50	389,36	21.05.2023	+2
2-й лист	26.05.2023	582,30	661,80	29.05.2023	+3
3-й лист	01.06.2023	745,23	*	*	*
Кушение	09.06.2023	1017,88	823,60	02.06.2023	–7
Выход в трубку	23.06.2023	1234,92	1585,80	27.06.2023	+4
Колошение	30.06.2023	1716,27	1951,50	06.07.2023	+6
Цветение	06.07.2023	1972,98	1994,30	06.07.2023	0
Формирование зерновки	14.07.2023	2294,83	*	*	*
Молочная спелость	20.07.2023	2560,82	2693,10	23.07.2023	+3
Молочно-восковая спелость	04.08.2023	3259,13	3156,60	02.08.2023	–2
Восковая спелость	11.08.2023	3642,04	3830,80	15.08.2023	+4
Твердая спелость	18.08.2023	4001,35	*	*	*
R^2			0,9797		

Примечание: 1 – виртуальная дата посева; * – нет данных.

Динамичность модели прогноза высоты обеспечивается коэффициентом h' , рассчитываемым как разница эмпирической hf и рассчитанной по уравнению (1) высотой растения от календарной даты посева до даты учета:

$$h = f(Cp) + h' \quad (2)$$

$$h' = hf - f(Cpf),$$

где $f(Cp)$ – уравнение динамики высоты растения (1);

Cpf – суммарная энтальпия воздуха от календарной даты посева до даты учета, кДж/кг.

Верификация прогноза показала соответствие эмпирических и прогнозируемых значений на уровне 99,65% (табл. 2), что обуславливает практическое применение модели для сезонного прогноза календарного срока и необходимости применения ретардантов в случае опасности полегания посевов.

Динамика наземной активной фитомассы. Наземная фотосинтетически активная фитомасса (листья, стебли, генеративные органы) возростала по экспоненциальной зависимости до фазы цветения, причем наиболее интенсивно этот процесс наблюдался от колошения до цветения (рис. 2). От цветения и до твердой спелости масса фитомассы снижалась вследствие постепенного отмирания листьев и стеблей.

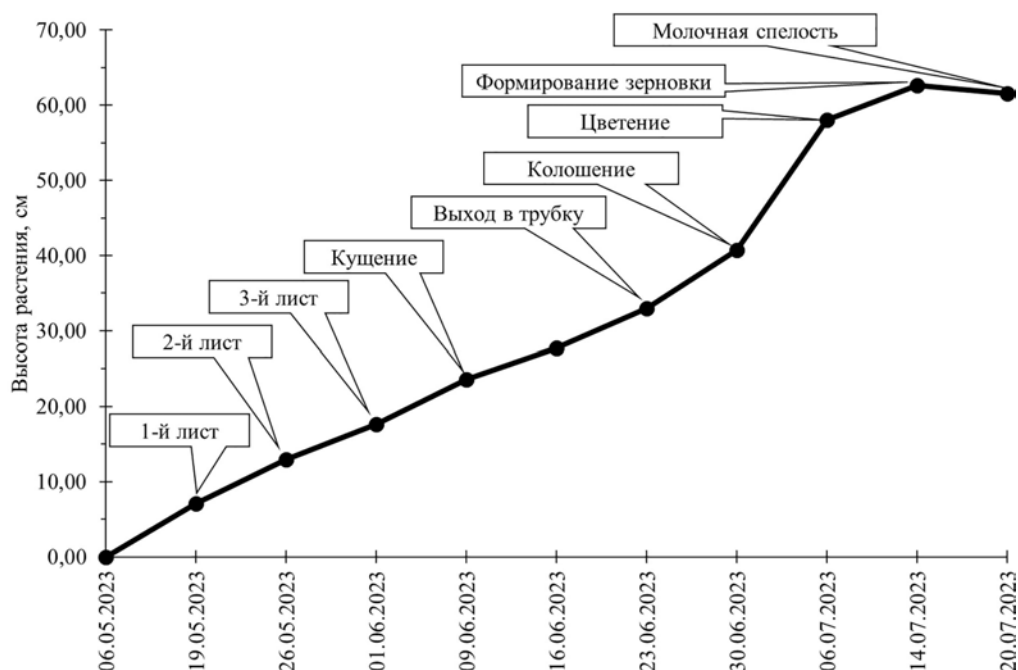


Рисунок 1 – Динамика высоты растения яровой пшеницы Любава (ориг.)

Таблица 2 – Верификация модели прогноза динамики высоты яровой пшеницы Любава

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Высота растения, см	
		эмпирическая	прогнозируемая
19.05.2023	315,50	7,12	7,12
26.05.2023	582,30	12,94	13,28
01.06.2023	745,23	17,64	17,07
09.06.2023	1017,88	23,61	23,44
16.06.2023	1234,92	27,75	28,54
23.06.2023	1438,95	32,93	33,35
30.06.2023	1716,27	40,71	40,82
06.07.2023	1972,98	58,00	58,03
14.07.2023	2294,83	62,61	62,64
20.07.2023	2560,82	61,54	65,99
R^2		0,9965	

Динамика фитомассы с точностью 98,17% описана системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 Ma &= 0,0069 \cdot e^{0,0026 \cdot Cp} & (315,50 \leq Cp \leq 1972,97 \text{ кДж/кг}) \\
 Ma &= -7E - 0,5 \cdot Cp + 1,1265 & (1972,98 \leq Cp \leq 3259,12 \text{ кДж/кг}) \\
 Ma &= 11382 \cdot Cp^{-1,177} & (3259,13 \leq Cp \leq 4001,35 \text{ кДж/кг}),
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где Ma – наземная активная фитомасса (13%-ной влажности), г/растение. фитомассы растения на вегетационный период текущего года рассчитывается по Прогноз динамики наземной активной модели:

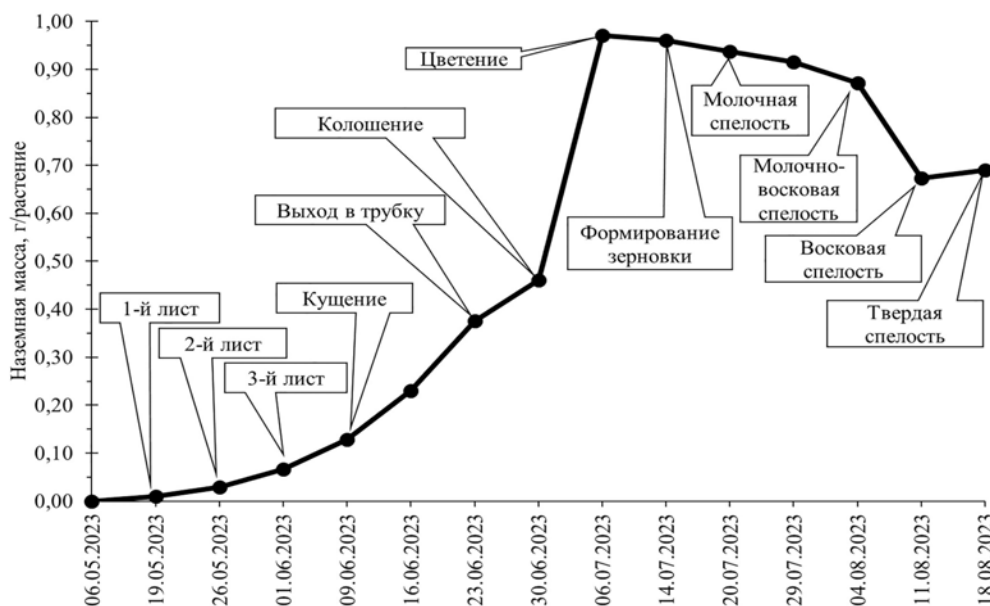


Рисунок 2 – Динамика наземной активной фитомассы (влажность 13%) яровой пшеницы Любава (ориг.)

$$Ma = f(Cp) + Ma' \tag{4}$$

$$Ma' = Maf - f(Cpf),$$

где Ma' – корректирующий коэффициент, г/растение;
 Maf – эмпирическая наземная активная фитомасса (13%-ной влажности) на календарную дату учёта, г/растение;
 Cpf – эмпирическая суммарная энтальпия воздуха от календарной даты посе-

ва до календарной даты учёта, КДж/кг;
 $f(Cp)$ – функция динамики воздушно-сухой (13%) наземной активной фитомассы растения, рассчитанная по уравнениям (3).

Точность работы прогностической модели составила 98,17% (табл. 3), что достаточно для практического ее применения в производственных условиях.

Таблица 3 – Верификация модели прогноза динамики массы фитоорганов (влажность 13%) яровой пшеницы Любава

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Наземная активная фитомасса, г/растение		Масса листьев, г/растение		Масса стебля, г/растение		Масса элементов колоса, г/растение		Масса плодов, г/растение	
		Э	П	Э	П	Э	П	Э	П	Э	П
19.05.2023	315,50	0,010	0,010	0,010	0,010						
26.05.2023	582,30	0,029	0,026	0,029	0,025						
01.06.2023	745,23	0,066	0,042	0,056	0,037	0,010	0,005				
09.06.2023	1017,88	0,128	0,092	0,090	0,063	0,038	0,027				
16.06.2023	1234,92	0,230	0,165	0,131	0,088	0,099	0,070				
23.06.2023	1438,95	0,375	0,285	0,138	0,111	0,237	0,155				
30.06.2023	1716,27	0,460	0,592	0,131	0,117	0,371	0,425	0,010	0,015		
06.07.2023	1972,98	0,971	0,983	0,124	0,116	0,717	0,718	0,130	0,119		
14.07.2023	2294,83	0,960	0,960	0,080	0,060	0,670	0,662	0,210	0,211		
20.07.2023	2560,82	0,938	0,942	0,032	0,034	0,486	0,532	0,178	0,203	0,113	0,132
29.07.2023	2963,03	0,915	0,913			0,368	0,345	0,146	0,155	0,401	0,380
04.08.2023	3259,13	0,872	0,829			0,245	0,233	0,132	0,121	0,495	0,495
11.08.2023	3642,04	0,673	0,726					0,133	0,089	0,540	0,587
18.08.2023	4001,35	0,690	0,650							0,690	0,641
R^2		0,9817		0,9320		0,9808		0,9650		0,9726	

Динамика массы листьев. Интенсивный рост листьев продолжался до конца кущения. В дальнейшем нижние листья отмирали, что вызвало снижение их массы к фазе

выхода в трубку, а в дальнейшем, особенно после цветения, процесс отмирания листьев проходил значительно быстрее (рис. 3).

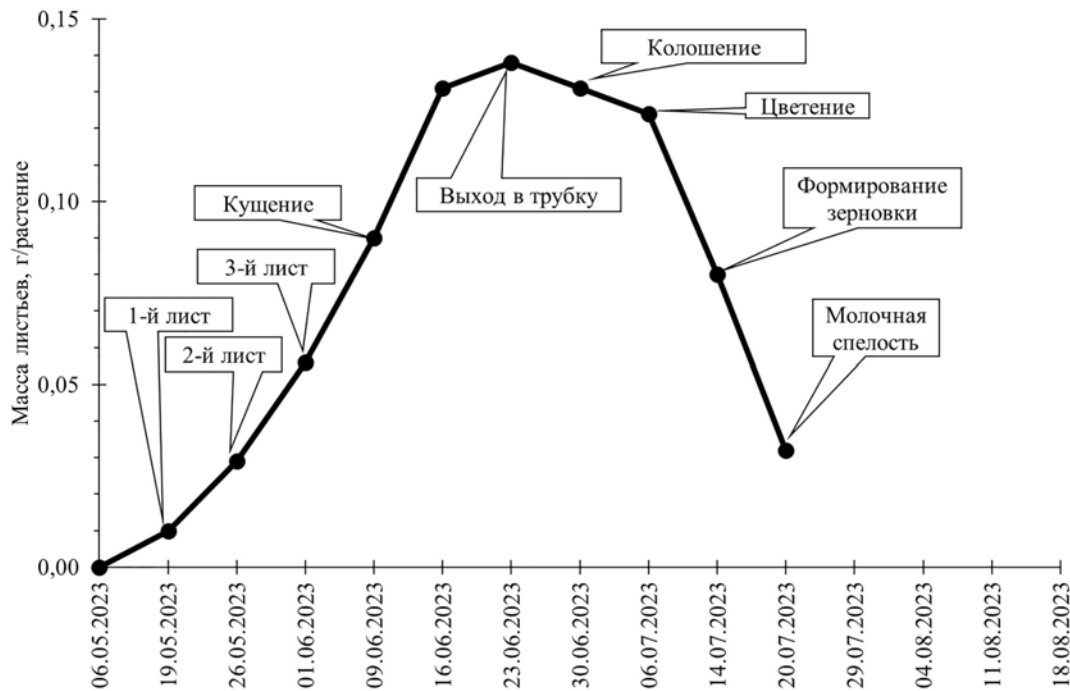


Рисунок 3 – Динамика массы листьев (влажность 13%) яровой пшеницы Любава (ориг.)

Для сезонного расчета прогноза динамики массы листьев, а также других наземных фитоорганов в модель вводим коэффициенты фитоорганов, то есть долю данного фитооргана в наземной активной фитомассе. Коэффициенты позволяют значительно снизить трудоемкость при сборе исходной для последующего прогноза информации в полевых условиях, поскольку после изме-

рения наземной массы растения и умножения ее на рассчитанный коэффициент фитооргана уже не требуется взвешивать массу каждого фитооргана, отделяя его от растения.

Динамика коэффициента листьев K_l на период вегетации пшеницы аппроксимирована следующей системой уравнений с точностью 99,60%:

$$\begin{aligned}
 K_l &= 1,0000 & (315,50 \leq C_p \leq 582,29 \text{ КДж/кг}) \\
 K_l &= -0,0007 \cdot C_p + 1,3968 & (582,30 \leq C_p \leq 1716,26 \text{ КДж/кг}) \\
 K_l &= 6,1212 \cdot e^{-0,002 \cdot C_p} & (1716,27 \leq C_p \leq 2560,82 \text{ КДж/кг}).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Верификация динамики массы листьев показала точность прогноза 93,20% (см. табл. 3).

Для сезонного прогноза массы фитооргана прогнозируемые значения надземной активной фитомассы растения M_a умножаются на прогнозируемый коэффициент листьев K_l , стебля K_s , элементов колоса K_g и плодов K_p , результатом является прогнозируемая масса листьев M_l , стебля M_s , элементов колоса M_g и плодов M_p :

$$M(l, s, g, p) = M_a \cdot K(l, s, g, p) \tag{6}$$

Урожайность Y рассчитывается как произведение массы растения M_a (или фитооргана растения $M(l, s, g, p)$ на количество растений на единице площади G :

$$Y = M(a, l, s, g, p) \cdot G \tag{7}$$

Динамика массы стебля. Визуально формирование стебля было заметно уже в фазу третьего листа, а в фазу кущения растение формировало от одного до трех стеблей. Однако в наших исследованиях



побеги кушения впоследствии отмирали и не образовывали генеративных органов. В первый период вегетации (до цветения) активная масса стебля возрастала, далее наблюдалось постепенное отмирание его частей и,

следовательно, активная масса этого фитооргана снижалась (рис. 4).

Динамика коэффициента стебля K_s с точностью 97,57% аппроксимирована системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 K_s &= 0,0006 \cdot C_p - 0,3189 & (745,23 \leq C_p \leq 1716,26 \text{ КДж/кг}) \\
 K_s &= 5E - 05 \cdot C_p + 0,6323 & (1716,27 \leq C_p \leq 2294,82 \text{ КДж/кг}) \\
 K_s &= 9E - 05 \cdot C_p + 0,8960 & (2294,83 \leq C_p \leq 2560,81 \text{ КДж/кг}) \\
 K_s &= 7,3109 \cdot e^{-1E-03 \cdot C_p} & (2560,82 \leq C_p \leq 3259,13 \text{ КДж/кг}).
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Рассчитанные по модели (6) значения совпадали с эмпирическими на 98,08% (см. табл. 3).

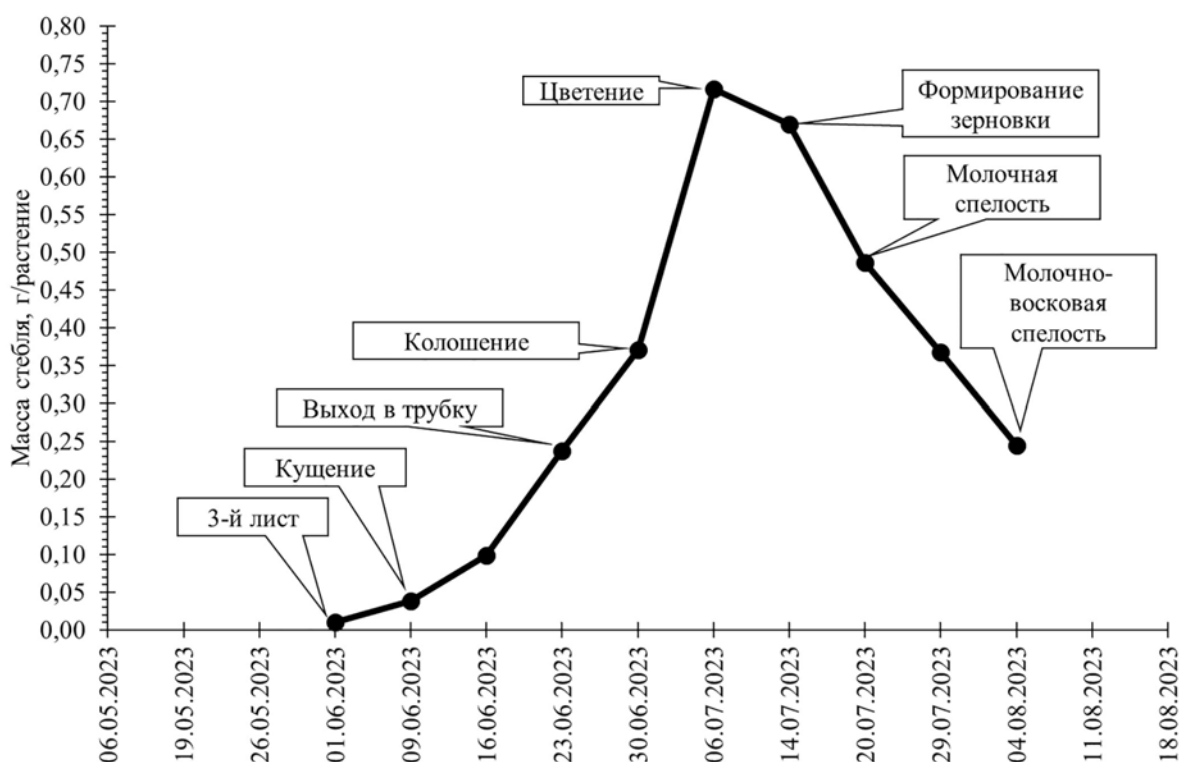


Рисунок 4 – Динамика массы стебля (влажность 13%) яровой пшеницы Любава (ориг.)

Динамика массы элементов колоса.

К элементам колоса мы относили колосковые и цветковые чешуи, тычинки и пестики цветка, окончательно сформировавшиеся в фазу колошения, масса которых возрастала до визуально видимой зерновки (рис. 5).

По мере роста плодов, масса которых учитывалась отдельно, масса элементов колоса снижалась.

Изменение коэффициента элементов колоса K_g в период вегетации описана системой уравнений с точностью 98,69%:

$$\begin{aligned}
 K_g &= 0,684 \cdot \ln(C_p) - 5,0686 & (1716,27 \leq C_p \leq 2294,82 \text{ КДж/кг}) \\
 K_g &= 5E - 06 \cdot C_p + 0,2078 & (2294,83 \leq C_p \leq 2560,81 \text{ КДж/кг}) \\
 K_g &= 63558 \cdot C_p^{-1,605} & (2560,82 \leq C_p \leq 3642,04 \text{ КДж/кг}).
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Точность прогноза по модели (6) составила 96,50% (см. табл. 3).

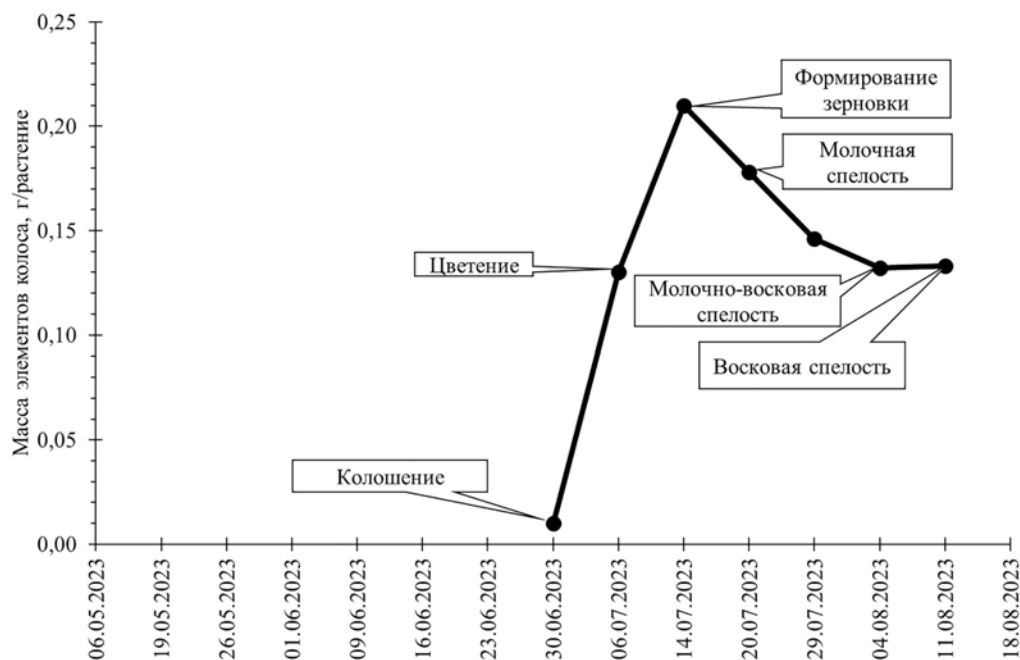


Рисунок 5 – Динамика массы элементов колоса (влажность 13%) яровой пшеницы Любава (ориг.)

Динамика массы плодов. Рост плодов, которые можно было отделить от элементов колоса, начался от фазы формирования зерновки и продолжался до восковой спелости (рис. 6).

Динамика коэффициента плодов K_p была аппроксимирована уравнением, описывающим этот процесс с точностью 99,64%:

$$K_p = 1,898 \cdot \ln(C_p) - 14,756 \quad (2560,82 \leq C_p \leq 4001,35 \text{ КДж/кг}). \quad (10)$$

Сезонный прогноз динамики массы плодов по модели (6) совпадал с эмпирическими данными на 99,64% (см. табл. 3).

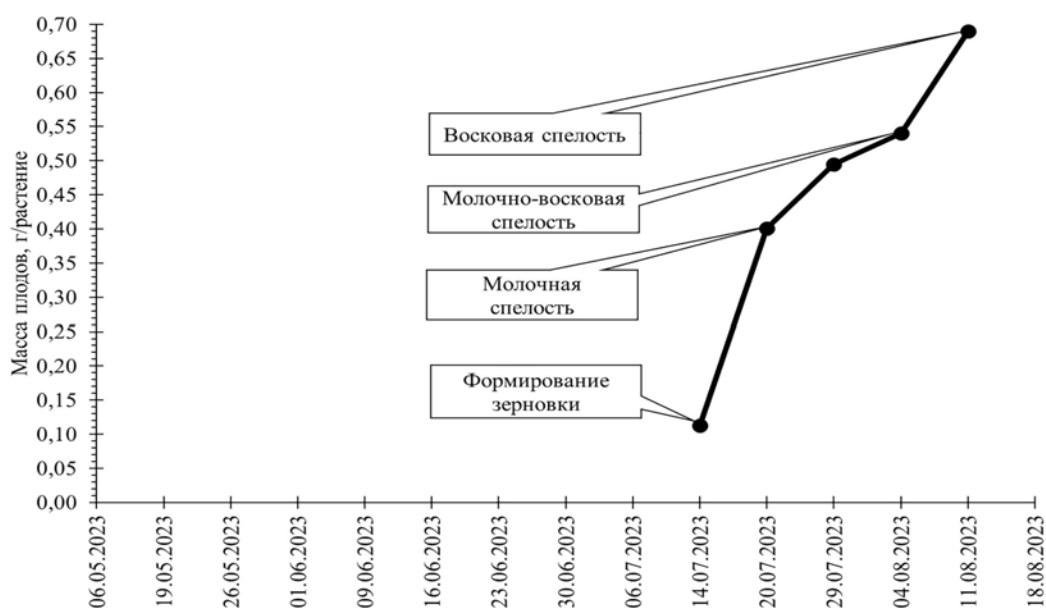


Рисунок 6 – Динамика массы плодов (влажность 13%) яровой пшеницы Любава (ориг.)



Методика расчета прогноза. Практическое применение модели в растениеводстве проводится по следующему алгоритму (рис. 7):

1. В полевых условиях извлечь растение вместе с корневой системой (в случае степени кущения больше 1,0) на учетной площадке 0,25 м². Количество повторностей зависит от площади засеянного контура.

2. Измерить высоту десяти растений (см) в каждой повторности и вычислить среднее значение.

3. Подсчитать количество растений в повторностях и вычислить среднее значение (экз./м²). Корневую систему удалить на границе с поверхностью почвы (в точке изменения цвета стебля).

4. Измерить наземную массу растений, вычислить среднее значение (г/растение) и пересчитать на влажность 13% (возможно предварительно высушить десять растений до влажности 13%).

5. По эмпирическим данным ближайшей агрометеорологической станции рассчитать суммарную энтальпию воздуха (КДж/кг) от даты посева до даты учета.

6. Ввести исходную информацию в модель и рассчитать прогноз динамики параметров от даты учета до конца периода вегетации.

Примечание. Пункты 2-5 можно выполнить в стационарных условиях.

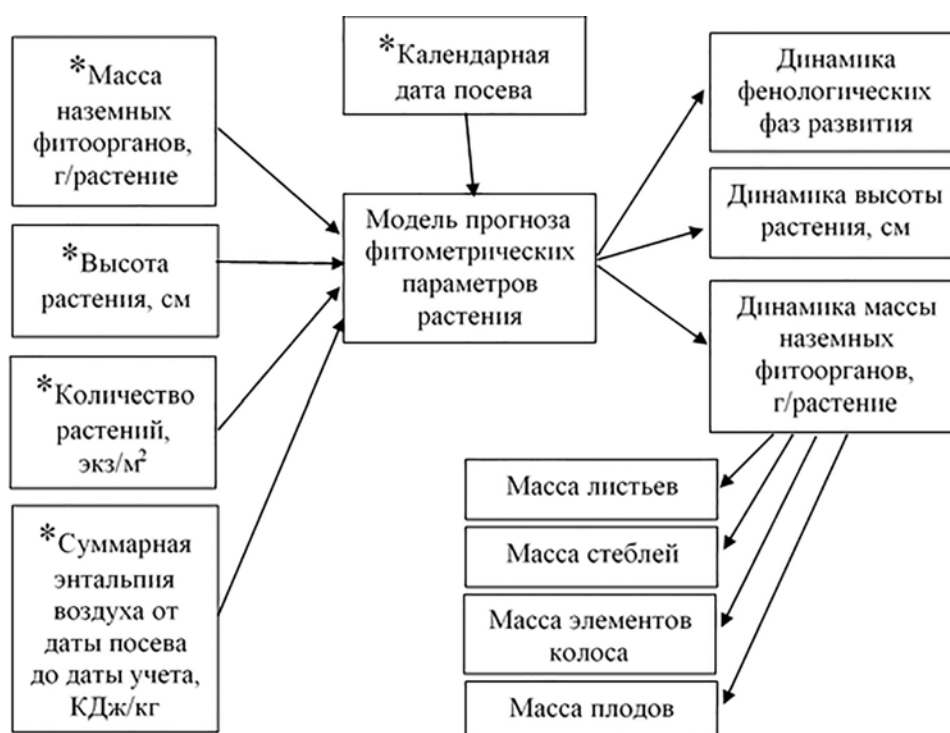


Рисунок 7 – Структурная схема методики расчета прогноза продуктивности растения
* – входные параметры модели (ориг.)

Заключение

В результате исследований установлена теплоемкость фенологических фаз развития яровой пшеницы сорта Любава, обеспечивающая возможность прогнозирования календарных сроков фенологических фаз развития на основании прогноза тепловых ресурсов текущего года.

Разработанные модели сезонного прогноза динамики ростовых процессов работали с точностью: высота растения – 99,65%,

масса фитоорганов влажностью 13%: наземная активная фитомасса – 98,17%, листьев – 93,20%, стебля – 98,08%, элементов колоса – 96,50%, плодов – 99,64%.

Для практического применения моделей в производственных условиях предлагается алгоритм сбора и обработки исходной информации, который обеспечивает возможность прогнозирования продуктивности растения и урожайности яровой пшеницы Любава минимум за 80-90 суток до начала уборочных работ.

Список литературы

1. Каюмов М. К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : [По агр. спец.]. Текст : непосредственный / М. К. Каюмов. М. : Агропромиздат, 1989. 317 с.
2. Бородий С. А., Мошкова Р. А. Теплоемкость фаз развития яровой пшеницы «Энита». Текст : непосредственный. Информ. листок ЦНТИ №290-91. Кострома : ЦНТИ, 1991.
3. Бородий С. А. Прогноз и мониторинг урожайности гороха посевного, овса, озимой ржи, ячменя, яровой пшеницы, пажиты обыкновенной, тысячелистника обыкновенного по массе растения на ранних стадиях развития по прогнозу тепловых ресурсов текущего года. Текст : непосредственный // Каталог инновационных разработок. Научная инновационная деятельность Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Караваево : Костромская ГСХА, 2017. С. 13–15.
4. Основы опытного дела в растениеводстве. Текст : непосредственный / В. Е. Ещенко, М. Ф. Трифонова, П. Г. Копытко и др. ; под ред. В. Е. Ещенко и М. Ф. Трифоновой. М. : КолосС, 2009. 268 с. : ил. (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
5. Агроэкологическое обоснование технологии возделывания пажиты обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в Костромской области : монография. Текст : непосредственный / С. А. Бородий, В. С. Виноградова, П. С. Бородий. Караваево : Костромская ГСХА, 2019. 156 с.
6. Бородий С. А. Теоретическое обоснование комплексной имитационно-мониторинговой модели продукционного процесса растений в агроэкосистемах. Кострома : Изд. КГСХА, 2000. 206 с.
7. Бородий С. А., Бородий П. С. Прогноз фенологических стадий развития пажиты обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в дикорастущих ценопопуляциях. Текст : непосредственный / Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Выпуск 86. Кострома : КГСХА, 2017. С. 5–11.

References

1. Kayumov M. K. Programmirovaniye urozhaev sel'skohozyajstvennykh kul'tur : [Po agr. spec.]. Tekst : neposredstvennyj / M. K. Kayumov. M. : Agropromizdat, 1989. 317 s.
2. Borodij S. A., Moshkova R. A. Teploemkost' faz razvitiya yarovoj pshenicy «Enita». Tekst : neposredstvennyj. Inform. listok CNTI №290-91. Kostroma : CNTI, 1991.
3. Borodij S. A. Prognoz i monitoring urozhajnosti goroha posevnogo, ovsa, ozimoy rzhi, yachmenya, yarovoj pshenicy, pizhmy obyknovennoj, tysyachelistnika obyknovenного по массе растения на ранних стадиях развития по прогнозу тепловых ресурсов текущего года. Tekst : neposredstvennyj // Katalog innovacionnykh razrabotok. Nauchnaya innovacionnaya deyatel'nost' Kostromskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. Karavaevo : Kostromskaya GSKHA, 2017. S. 13–15.
4. Osnovy opytnogo dela v rastenievodstve. Tekst : neposredstvennyj / V. E. Eshchenko, M. F. Trifonova, P. G. Kopytko i dr. ; pod red. V. E. Eshchenko i M. F. Trifonovoj. M. : KolosS, 2009. 268 s. : il. (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedenij).
5. Agroekologicheskoe obosnovanie tekhnologii vzdelyvaniya pizhmy obyknovennoj (*Tanacetum vulgare* L.) v Kostromskoj oblasti : monografiya. Tekst : neposredstvennyj / S. A. Borodij, V. S. Vinogradova, P. S. Borodij. Karavaevo : Kostromskaya GSKHA, 2019. 156 s.
6. Borodij S. A. Teoreticheskoe obosnovanie kompleksnoj imitacionno-monitoringovoj modeli produkcionnogo processa rastenij v agroekosistemah. Kostroma : Izd. KGSKHA, 2000. 206 s.
7. Borodij S. A., Borodij P. S. Prognoz fenologicheskikh stadij razvitiya pizhmy obyknovennoj (*Tanacetum vulgare* L.) v dikorastushchih cenopopulyacijah. Tekst : neposredstvennyj / Trudy Kostromskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. Vypusk 86. Kostroma : KGSKHA, 2017. S. 5–11.



Сведения об авторах

Сергей Алексеевич Бородий – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и селекции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Вера Сергеевна Виноградова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, биологии и защиты растений, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the authors

Sergey A. Borodiy – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agriculture, Plant Production and Selection, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Vera S. Vinogradova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agrochemistry, Biology and Plant Protection, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Бородий С. А., Виноградова В. С., 2024

© Borodiy S. A., Vinogradova V. S., 2024



Научная статья

УДК 546.652

doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_28

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА*

Вера Сергеевна Виноградова¹, Сергей Владимирович Иванов², Елена Алексеевна Вилочкина³^{1,2,3} Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия¹ verochka_54@list.ru² sv.ivanov67@yandex.ru³ ms.solvoeva@mail.ru

Аннотация. Приготовление качественных лигниновых компостов возможно при условии строгого балансирования элементов питания в массе, которое было установлено с использованием разработанного веб-приложения, позволившего получить их соответствие с требованиями. Применение лигниновых компостов при возделывании полевых культур обеспечило прибавку урожайности хозяйственно полезной продукции от 10 до 46%, огурца, в условиях защищённого грунта, – 4,65 кг/м².

Ключевые слова: лигнин, компосты, полевые культуры, урожайность, огурец, сбор продукции

Для цитирования: Виноградова В. С., Иванов С. В., Вилочкина Е. А. Научно-практический опыт и перспективы применения гидролизного лигнина // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 28-33.

SCIENTIFIC AND PRACTICAL EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR THE USE OF HYDROLYTIC LIGNIN

Vera S. Vinogradova¹, Sergey V. Ivanov², Elena A. Vilochkina³^{1,2,3} Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia¹ verochka_54@list.ru² sv.ivanov67@yandex.ru³ ms.solvoeva@mail.ru

Abstract. The preparation of high-quality lignin compost is possible under the condition of strict balancing of the batteries in the mass, which was established using a developed web application that allowed them to comply with the requirements. The use of lignin compost in the cultivation of field crops provided an increase in the yield of economically useful products from 10 to 46%, cucumber, in protected soil conditions of 4.65 kg/m².

Keywords: lignin, compost, field crops, yield, cucumber, harvest

For citation: Vinogradova V. S., Ivanov S. V., Vilochkina E. A. Scientific and practical experience and prospects of using hydrolytic lignin // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. № 1 (13). Pp. 28-33.

Введение

Одна из актуальных задач рационального природопользования – решение проблемы утилизации крупнотоннажных промышленных отходов. Накопленные промышленные отходы занимают значительные земельные территории, выступают источником загрязнения окружающей среды, следствием чего является ухудшение условий жизни человека. Количество некоторых углеродсодержащих отходов столь велико, что их рассматривают как вторичные техногенные сырьевые ресурсы.

Лигнин, как составная часть древесины, наиболее трудно утилизируемый отход, который образуется при её химической переработке на целлюлозно-бумажных и гидролизных предприятиях. С другой стороны, он потенциальный сырьевой ресурс для многих стран [1].

Технический лигнин имеет высокую влажность (50-70%), содержит непрогидролизированные полисахариды (15-30%), неотмытые моносахариды (2-10%) и вещества лигногуминового комплекса (5-15%), зольность – 2-10% [2]. Спрос на лигнинсодержащие продукты растет быстрыми темпами в последние несколько лет. Объем глобального рынка лигнина оценивался в 889,7 млн долл. в 2020 году, как ожидается, достигнет 1616 млн долл. к концу 2026 года. По оценкам ряда экспертов, переработка даже половины российских древесных отходов позволит увеличить объем производства продукции из лигнина до 8-10 млн тонн в год [2].

В городе Мантурово, в районе территории бывшего биохимического завода, находится площадка около 20 га, где складирован в отвалы гидролизный лигнин, объём которого достигает 1,5-2,0 млн т. В настоя-

* Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка состава и элементов технологий экологической биоконверсии органических (лигниновых) отходов в Костромской области» по контракту №1873 от 01.11.2023 г.



щее время проблема использования лигнина полностью не решена [3].

Встречным обстоятельством является факт снижения почвенного плодородия пахотных земель Костромской области. В 2022 году ФГБУ ГСАС «Костромская» было проведено агрохимическое обследование на посевных площадях земель сельскохозяйственного назначения области на площади 66,540 тыс. га. Установлено, что в составе пахотных земель преобладают дерново-подзолистые почвы легко- и среднесуглинистого механического состава. Каждый третий гектар их представлен эродированными почвами. Обследованная пашня области на 75,9% (405,7 тыс. га) представлена кислыми почвами, из них 35,4% (189,1 тыс. га) – избыточно кислыми, нуждающимися в первоочередном известковании. Отмечено, что площадь кислых почв, по сравнению с показателями 2002 года, возросла на 12,2%. За прошедшие двадцать лет снизилось содержание фосфора и калия, баланс гумуса, по разным районам, находится в пределах 1,6-2,3 [4].

Авторы отмечают, что виды и дозы удобрений следует применять в зависимости от почвенного плодородия и для каких целей выращивается культура [3].

В связи с указанными обстоятельствами научно-исследовательская работа по изучению вопросов возможности использования сырья в виде лигнина продолжается с 1991 года по настоящее время. Базируясь на проведенных многолетних исследованиях, можно утверждать, что компосты, приготовленные на основе гидролизного лигнина, эффективны при возделывании сельскохозяйственных культур.

Цель исследований – изучить эффективность сбалансированного состава компостов на основе лигнина при выращивании сельскохозяйственных культур.

Методика исследований

Исследования проводили в лабораториях Костромской ГСХА, в хозяйствах Костромской области и в остекленной теплице подсобного хозяйства, в 1993-2003 гг., 2012-2016 гг., 2021-2023 гг., в соответствии с общепринятыми методиками [5, 6]. Предмет исследований – лигниновые компосты. Объект исследований – сельскохозяйственные культуры.

В полевых опытах учитывали урожай и качество хозяйственно полезной продукции. Опыты на культуре огурец F₁ Кураж проводили в условиях защищенного грун-

та. Почвогрунт в теплице имел следующие характеристики: рН 6,2; содержание органического вещества – 2,2%, фосфора – 85 мг/кг, калия – 194 мг/кг. При высадке растений 2,0 шт./м² под каждое растение был внесён лигнино-помётный компост в дозе 485 г.

Рассада была высажена в теплицу 17 мая 2023 г. Схема размещения опыта построена по методу организованных повторений двух вариантов: 1-й – почвогрунт – контроль; 2-й – лигнино-помётный компост (ЛП) 10 т/га; повторность опыта трехкратная, площадь учётной делянки – 1 м².

В процессе развития растений вели фенологические наблюдения, учитывался валовой сбор. Сборы урожая проведены с 17.06-20.06.2023 г. и по 05.08.2023 г., с интервалом в 2-3 дня.

Математическую обработку полученных результатов и оформление материалов выполняли с использованием пакета прикладных программ Microsoft office.

Результаты исследований

Основной проблемой приготовления качественного компоста является баланс основных элементов питания в массе, удовлетворяющий потребности микрофлоры и растений [7]. С этой целью учёными академии была усовершенствована программа и разработано веб-приложение, предназначенное для расчета оптимального состава органического компоста с учетом выбранной культуры и химических характеристик, входящих в состав компонентов компоста.

Основой для создания этого продукта послужили технологии Microsoft, включая язык программирования C# и набор инструментов для разработки веб-приложений, таких как ASP.NET Core и Entity Framework Core. Программа написана на языке программирования C# – объектно-ориентированный язык программирования, разработанный Microsoft как часть платформы NET. Он сочетает в себе выразительность и мощь C++ с простотой визуального проектирования, характерной для Visual Basic. Язык C# идеально подходит для создания различных типов приложений, включая веб-сервисы, клиентские приложения и многопоточные системы. Его использование в данном проекте обеспечивает высокую производительность, безопасность типов и простоту управления памятью.

Приготовленные с использованием программного продукта лигниновые компосты имели следующую характеристику (табл. 1).

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика компостов и их компонентов

Компосты	рН	Влага, %	Зола, %	% на сухую массу			С:N
				азот	фосфор	калий	
Лигнино-пометный (программированный)	7,2	69,1	45,5	2,13	0,92	1,60	20,6
Лигнино-навозный	6,7	52,6	53,4	0,59	0,23	0,56	39,1
Лигнино-аммиачный (программированный)	6,7	68,8	46,4	1,97	0,66	1,74	22,9
Лигнино-известковый	7,6	64,6	47,9	0,03	0,28	0,35	131,6
Торфо-навозный (программированный)	6,0	69,5	19,9	2,02	0,32	4,03	23,1
Торфо-пометный	6,2	57,8	20,1	1,58	2,82	2,53	13,1
Навоз (жидкий)	8,3	85,8	35,1	3,70	0,40	6,00	8,7
Помет	8,0	72,7	22,0	4,62	4,46	3,30	3,0
Лигнин	4,1	59,1	10,3	0,02	0,45	0,06	118,4

Приготовленные по программированному расчёту компосты имели близкую к нейтральной или слабощелочную реакцию среды pH_{KCl} – 6,0-7,2, были насыщены основными элементами питания. Что касается соотношения С/N, то следует отметить, что в компостах, где расчет основных элементов проводился с учетом этого показателя, оно приближалось к заданному и составляло 20,6-23,1:1. Другие виды органических удобрений имели очень широкое (39-130:1) соотношение основных органогенов.

Как отмечают многие авторы, органические удобрения, имеющие соотношение С/N уже, чем 15-20/1, при внесении их в почву, активизируют в ней минерализационные процессы, приводящие к потере

органического вещества. Напротив, смещение соотношения в сторону высокого содержания углерода приводит к иммобилизации азота микрофлорой почвы. И та, и другая ситуации могут не самым лучшим образом сказаться на поступлении в растения основных элементов питания [8].

В полевых опытах использовали аммиачные, пометные, навозные компосты на основе лигнина, которые вносили под овес, ячмень, озимую рожь, горохо-овсяную смесь, кукурузу и картофель. На среднеоккультуренной почве введение лигниновых компостов в дозе 40 т/га, как органического удобрения, способствовало значительному повышению урожайности всех изучаемых сельскохозяйственных культур (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность сельскохозяйственных культур в полевых опытах, т/га (зерн. ед.) 1999-2002 гг.

Удобрение	Озимая рожь	Лен (треста)	Ячмень	Суммарная продукция	±, т	±, %
Контроль (ест. плодородие)	2,80	3,43	0,86	4,07	–	–
$N_{60}P_{40}K_{90}$	3,10	3,63	1,02	5,62	0,55	10,8
Лигнино-аммиачный компост (программир.)	3,57	5,10	1,67	8,02	2,95	58,0
Лигнино-помётный компост (программир.)	3,84	5,12	1,42	7,44	2,37	46,0
Торфо-навозный компост (программир.)	2,54	1,29	1,29	6,16	1,09	21,0
HCP_{05}	0,21	0,48	0,22	1,02	–	–

Наиболее эффективными оказались компосты лигнино-помётные и лигнино-аммиачные. Приготовление лигнино-аммиачных

компостов с практической точки зрения было более технологичным и доступным по сырьевому компоненту. Использование



этого вида компостов под сельскохозяйственные культуры было достаточно эффективным. Наибольшую прибавку урожая от внесения лигнино-аммиачных компостов

дала озимая рожь, которая составила 33,3%, ячмень – 31,8%, картофель – 28,8%, горохо-овсяная смесь – 27,4%, кукуруза – 22,8%, овес – 18,5% (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние лигнино-аммиачных компостов на урожайность сельскохозяйственных культур 1995-2001 гг.

Культура	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
Овес	2,1	0,38	18,5
Ячмень	1,2	0,39	31,8
Озимая рожь	1,3	0,42	33,3
Горохо-овсяная смесь	18,6	0,51	27,4
Кукуруза	39,9	9,09	22,8
Картофель	17,8	5,13	28,8

Биохимический анализ основной продукции показал, что компосты, приготовленные на основе лигнина, положительно влияют на содержание белка и азота в зерне овса, ячменя и озимой ржи. В среднем содержание его повышалось на 1,5%. Содержание фосфора и калия изменялось незначительно. В зеленой массе кукурузы содержание протеина повышалось на 5,42, а в клубнях картофеля – на 0,95%.

В последние годы фермерские хозяйства, которые выращивают огурец в условиях плёночных и остеклённых теплиц, испытывают потребность в органических удобрениях. Огурец – культура, требующая много качественной органики. Применяя лигнино-помётный компост, было установлено, что растения в этом варианте развивались более активно и плодоносить начали на три дня раньше (рис.).

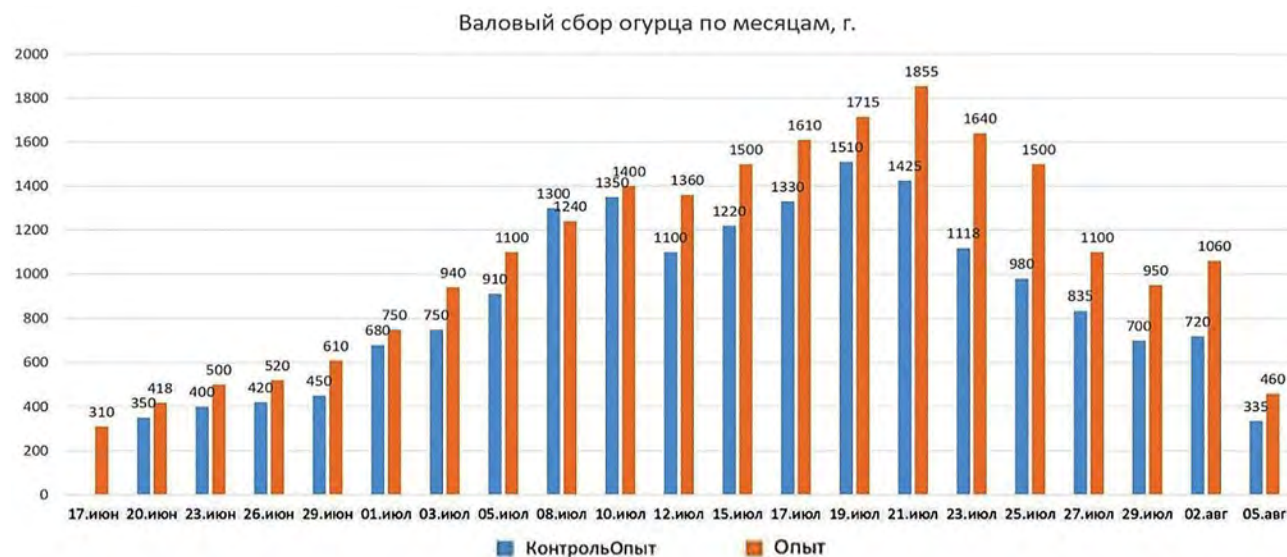


Рисунок – Валовой сбор огурца F1 Кураж за вегетационный период, 2023 г.

Максимальный сбор пришёлся на вторую и третью декады июля. В результате урожайность огурца в опытном варианте составила 22,5 кг/м² против контрольных показателей 17,8 кг, что существенно выше на 4,65 кг (табл. 4).

После сбора огурца был проведен анализ почвогрунта, который показал, что кислотность

почвы стала ниже на 0,5 и составила рН_{КСЛ} 6,7, повысилось содержание фосфора и калия до 96 и 272 мг/кг соответственно, органического вещества содержалось 2,3%. Следовательно, используемые лигнино-помётные компосты положительно повлияли и на урожайность культуры огурца, и на плодородие почвы, что указывает на перспективу успешного их применения.

Таблица 4 – Урожайность огурца F1 Кураж при использовании лигнино-помётного компоста, 2023 г.

Варианты	Всего, кг/м ²	Прибавка, кг/м ²	Прибавка, %
Почвогрунт-контроль	17,88	–	–
Почвогрунт + лигнино-помётный компост, 10 т/га	22,53	4,65	26
НСР ₀₅	2,09	–	–

Заключение

Приготовление качественных лигниновых компостов возможно при условии строгого балансирования элементов питания в массе, которое было установлено с использованием разработанного веб-приложения, позволившего получить их соответствие с требованиями. Применение лигниновых компостов при возделывании полевых культур обеспечило прибавку урожайности хозяйственно полезной продукции от 10 до 46%, дополни-

тельного сбора огурца в условиях защищённого грунта – 26%.

Применение гидролизного лигнина в качестве основного компонента компостов, необходимых при возделывании сельскохозяйственных полевых культур и огурца в условиях защищённого грунта, позволит расширить перспективы их применения и сократить количество отходов в зоне складирования, что, несомненно, улучшит и экологическую ситуацию для населения.

Список литературы

1. Усова К. А. Перспективные направления применения лигнина в производстве полимерных и композиционных материалов. Текст : непосредственный / К. А. Усова, П. С. Захаров, А. Е. Шкуро // Молодой ученый. 2023. № 8 (455). С. 11–16.
2. Faruk O. Lignin in polymer composites. Text : direct / O. Faruk, M. Sain. Waltham : Elsevier, 2016. 252 p.
3. Сорокин А. Н. Оценка возможности производства зерна пивоваренного ячменя в Костромской области. Текст : непосредственный // Аграрный вестник Нечерноземья. 2023. № 1 (9). С. 12–19.
4. Отчёт ФГБУ ГСАС «Костромская». Текст : электронный. 2022. 32 с. Режим доступа: <https://e-ecolog.ru/search?q>
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агроном. спец. Текст : непосредственный / Б. А. Доспехов. М. : Альянс, 2011.
6. Овощеводство защищенного грунта : учебник для сельскохозяйственных вузов по специальности «Плодоовощеводство и виноградарство». Текст : непосредственный / В. А. Брызгалов, В. Е. Советкина, Н. И. Савинова и др. ; под ред. В. А. Брызгалова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1995. 351 с.
7. Рекомендации к использованию лигнина на удобрение. Текст : электронный. Кострома, информационный листок, НТО, 1993. 12 с. Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/55871/Костромской.
8. Матаруева И. А. Микробиологические закономерности формирования гумусных запасов дерново-подзолистых почв : монография. Текст : непосредственный. Кострома : Изд. Костромской ГСХА, 2005. 190 с.

References

1. Usova K. A. Perspektivnyye napravleniya primeneniya lignina v proizvodstve polimernykh i kompozitsionnykh materialov. Tekst : neposredstvennyy / K. A. Usova, P. S. Zaharov, A. E. Shkuro // Molodoy uchenyj. 2023. № 8 (455). S. 11–16.



2. Faruk O. Lignin in polymer composites. Text : direct / O. Faruk, M. Sain. Waltham : Elsevier, 2016. 252 r.
3. Sorokin A. N. Ocenka vozmozhnosti proizvodstva zerna pivovarennogo yachmenya v Kostromskoj oblasti. Tekst : neposredstvennyj // Agrarnyj vestnik Nechernozem'ya. 2023. № 1 (9). S. 12–19.
4. Otchyt FGBU GSAS «Kostromskaya». Tekst : elektronnyj. 2022. 32 s. Rezhim dostupa: <https://e-ecolog.ru/search?q>
5. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) : uchebnik dlya stud. vyssh. s.-h. ucheb. zavedenij po agronom. spec. Tekst : neposredstvennyj / B. A. Dospekhov. M. : Al'yans, 2011.
6. Ovoshchevodstvo zashchishchennogo grunta : uchebnik dlya sel'skohozyajstvennyh vuzov po special'nosti «Plodoovoshchevodstvo i vinogradarstvo». Tekst : neposredstvennyj / V. A. Bryzgalov, V. E. Sovetkina, N. I. Savinova i dr. ; pod red. V. A. Bryzgalova. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Kolos, 1995. 351 s.
7. Rekomendacii k ispol'zovaniyu lignina na udobrenie. Tekst : elektronnyj. Kostroma, informacionnyj listok, NTO, 1993. 12 s. Rezhim dostupa: https://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/55871/Kostromskoj
8. Matarueva I. A. Mikrobiologicheskie zakonomernosti formirovaniya gumusnyh zapasov der-novo-podzolistyh pochv : monografiya. Tekst : neposredstvennyj. Kostroma : Izd. Kostromskoj GSKNA, 2005. 190 s.

Сведения об авторах

Вера Сергеевна Виноградова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, биологии и защиты растений, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Сергей Владимирович Иванов – кандидат технических наук, проректор по научно-исследовательской работе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Елена Алексеевна Вилочкина – студентка 2-го курса уровня магистратуры факультета агробизнеса, направление 35.04.04 Агрономия, направленность «Агрономия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the authors

Vera S. Vinogradova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agrochemistry, Biology and Plant Protection, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Sergey V. Ivanov – Candidate of Technical Sciences, Vice-Rector for Research work, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Elena A. Vilochkina – is a 2nd year graduate student of the Faculty of Agribusiness, direction 35.04.04 Agronomy, focus «Agronomy», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Виноградова В. С., Иванов С.В., Вилочкина Е. А., 2024

© Vinogradova V. S., Ivanov S.V., Vilochkina E. A., 2024

Научная статья
УДК 504.03:631.467.2:631.5
doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_34

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ

Полина Алексеевна Котьяк¹, Софья Александровна Галицкая²

^{1,2,3} Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

¹ p.kotyak@yarcx.ru

² Sgalitskaya845@mail.ru

Аннотация. Целью настоящей работы являлась оценка влияния агротехнических приемов на экологическое состояние почвы методом биоиндикации. Экспериментальная работа проводилась в 2023 г. в многолетнем трёхфакторном стационарном полевом опыте, заложенном на опытном поле ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ». Свободноживущих почвенных нематод в верхнем слое пахотного горизонта в два раза больше по сравнению с нижним. Так, среднее содержание нематод в почве за два учета составляло в слое 0-10 см – 18,70, 10-20 см – 9,70 экз./10 г почвы. Системы основной обработки почвы, базирующиеся на поверхностных обработках, создавали одинаковые условия обитания для нематод, как и при ежегодной вспашке. Последействие пшеничной соломы и внесение минеральных удобрений стимулировало наряду с ростом растений многолетних трав увеличение плотности популяции почвенных нематод. Последействие гербицида не приводило к достоверным изменениям численности свободноживущих нематод.

Ключевые слова: биоиндикация, свободноживущие нематоды, многолетние травы, агротехнические приемы

Для цитирования: Котьяк П. А., Галицкая С. А. Оценка влияния агротехнических приемов на экологическое состояние почвы методом биоиндикации // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 34-41.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AGROTECHNICAL TECHNIQUES ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE SOIL BY THE METHOD OF BIOINDICATION

Polina A. Kotyak¹, Sofia A. Galitskay²

^{1,2} Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

¹ p.kotyak@yarcx.ru

² Sgalitskaya845@mail.ru

Abstract. The purpose of this work was to assess the impact of agrotechnical techniques on the ecological state of the soil by bioindication. The experimental work was carried out in 2023 in a multi-year three-factor stationary field experiment, laid down at the experimental field of the Yaroslavl State Agrarian University. Free-living soil nematodes in the upper layer of the arable horizon are twice as large as in the lower one, so the average content of nematodes in the soil for two counts was in the layer 0-10 cm – 18.70; 10-20 cm – 9.70 copies / 10 g of soil. Basic tillage systems based on surface treatments created the same habitat conditions for nematodes, as with annual plowing. The aftereffect of wheat straw and the introduction of mineral fertilizers stimulated, along with the growth of plants of perennial grasses, an increase in the density of the population of soil nematodes. The aftereffect of the herbicide did not lead to significant changes in the number of free-living nematodes.

Keywords: bioindication, free-living nematodes, perennial grasses, agrotechnical techniques

For citation: Kotyak P. A., Galitskay S. A. Assessment of the impact of agrotechnical techniques on the ecological state of the soil by the method of bioindication // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. №1 (13). Pp. 34-41.

Введение

Для комплексной оценки состояния почвы используются различные показатели, характеризующие ее фазы – твердую, жидкую, газообразную и живую [1, 2]. Особое значение такая оценка имеет для почв сельскохозяйственного назначения, в том числе и для характеристики её плодородия [3, 4]. Для оценки таких почв используются лишь агрохимические параметры. Однако для целей эффективного управления почвенными

ресурсами и оздоровления почвы возникает необходимость в исследовании экологического состояния почв, особенно при разработке экологически чистых технологий возделывания культур.

Эффективным методом оценки экологического состояния среды является биоиндикация. Биоиндикация – это оценка состояния среды с помощью живых организмов, основанная на наблюдении за составом и численностью, а также биологическими пара-



метрами видов-индикаторов. В качестве биоиндикаторов используют низшие и высшие растения, простейшие, различные виды животных, микроорганизмы [5]. Благодаря тесной связи жизненных функций организмов-индикаторов со средой можно сопоставить развитие определенных признаков у живых организмов с качеством окружающей среды.

Перспективными биоиндикаторами в сравнении с другими группами организмов могут являться свободноживущие нематоды. Они практически сами не мигрируют, имеют очень короткий цикл развития при крайне высокой чувствительности к среде обитания (т.е. при изменении условий среды структура нематодного сообщества очень быстро изменяется), повсеместно распространены (это позволяет интерпретировать и обобщать результаты, полученные в разных регионах планеты), относительно легко могут быть собраны, тесно связаны с процессами почвенной экосистемы [6, 7, 8].

В связи с этим изучение воздействия разных систем обработки, удобрений и защиты растений, применяемых в технологиях возделывания полевых культур, на нематофауну дерново-подзолистой глееватой почвы актуально и имеет практическую значимость, так как полученные данные позволяют сформировать общее представление о механизмах адаптации нематод к новым условиям окружающей среды и об их зависимости от почвенных свойств и структуры растительного покрова.

Таким образом, целью настоящей работы является оценка влияния агротехнических приемов на экологическое состояние почвы методом биоиндикации.

Материал и методы исследований

Экспериментальная работа проводилась в 2023 г. в многолетнем трёхфакторном стационарном полевом опыте, заложенном на опытном поле ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ» (д. Бекренево Ярославского муниципального района) в 1995 году на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой глееватой почве на карбонатной морене. Почва опытного участка сформировалась в пониженных элементах агроландшафта при поверхностном периодическом избыточном увлажнении, что обуславливает в целом неблагоприятный водно-воздушный режим, низкое плодородие, но при окультуривании и вовлечении в категорию пахотных почв может сформировать

дополнительное количество растительной продукции.

Условия места проведения исследований, полная схема полевого стационарного трёхфакторного опыта изложены ранее [9].

В данной работе представлена оценка экологического состояния почвы по вариантам при отвальной «O₁», поверхностно-отвальной «O₃» и поверхностной «O₄» системах основной обработки почвы, по системам удобрения: без удобрений «У₁»; солома в норме 3 т/га «У₃»; солома в норме 3 т/га + NPK «У₅»; NPK «У₆», по обеим системам защиты растений от сорняков: с применением гербицида и без («Г₁» и «Г₂»).

Опыт проводился с чередованием полевых культур во времени: яровая пшеница (2021) – овес с подсевом многолетних трав (2022) – многолетние травы (2023). В год исследований использовалась клеверо-тимофеечная смесь (тимофеевка луговая сорта Ленинградская 204; клевер луговой Дымковский).

На вариантах с применением гербицида изучалось последствие гербицида «Агритокс» (ВРК, 500 г/л) – 1,0 л/га, который применялся в посевах овса полевого (2022).

В схеме опыта предусмотрено ежегодное внесение минеральных удобрений. Из форм минеральных удобрений использовалась азофоска (NPK 16:16:16). Комплексное удобрение вносилось в подкормку весной, норма внесения удобрений составила N₃₈P₃₈K₃₈. В 2021 году на вариантах с использованием соломы вносилась солома яровой пшеницы и заделывалась первыми обработками под овес.

Оценку влияния агротехнических приемов на экологическое состояние дерново-подзолистой глееватой почвы определяли методом биоиндикации в почвенных образцах, отобранных из пахотного горизонта по слоям 0-10 и 10-20 см в два учета. При проведении учета нематод в почве использовали модифицированный метод Бермана (Baermann funnel method) [6]. Статистическую обработку результатов исследования проводили методом дисперсионного анализа с использованием программы DISANT, корреляционно-регрессионный анализ – с использованием программы STATISTICA.

Результаты исследований

В целом анализ полученных результатов по количеству нематод показал, что свободноживущих почвенных нематод в верхнем

слое пахотного горизонта в два раза больше по сравнению с нижним, так, среднее содержание нематод в почве опытного участка составляло в слое 0-10 см – 18,70, 10-20 см – 9,70, 0-20 см – 14,20 экз./10 г почвы.

Почвенная фауна, как компонент любой экологической системы, отражает происходящие изменения среды обитания при произрастании культурных растений, что проявляется в динамике их обилия. С этой целью было проведено два учета беспозвоночных животных под посевом многолетних трав в мае и июне.

С целью обобщения результатов и установления закономерностей распределения изучаемого показателя мы сочли целесообразным представить изменение количества нематод по учетам в среднем по факторам.

Результаты анализа проб (рис. 1, 2, 3) показали, что количество нематод во второй учет отбора образцов снизилось на 59,4% в целом по пахотному горизонту по сравнению с первым учетом. Данное изменение может быть связано с более плотным растительным покровом многолетних трав ко второму учету, который подавляет нематод. Угнетение данной фауны многолетними дернообразующими травами отмечали ряд авторов [10].

Также это может быть связано с условиями увлажнения. Так, во второй период отбора образцов наблюдалось малое количество осадков и высокая температура, что вызвало иссушение корнеобитаемого слоя почвы,

а как известно, нематоды обитают в водной пленке, окружающей почвенные частицы. Наши результаты согласуются с наблюдениями D. Song с соавторами [11], О.И. Стогниенко с соавторами [12].

Следует отметить сильную дифференциацию пахотного горизонта на слои по численности нематодофауны в первый учет отбора образцов с наибольшими значениями в верхнем слое (0-10 см). Ко второму учету пахотный горизонт по количеству микрофауны приобрел гомогенное строение по всем вариантам опыта.

Агротехнические приемы (обработка почвы, внесение удобрений, применение пестицидов и т.д.) в условиях современного земледелия имеют большое влияние на фауну агрофитоценозов. В результате неразумной и непрограммируемой деятельности человека может произойти обеднение видового состава, уменьшение плотности популяции, снижение общей биомассы [13].

Проведенный анализ численности населяющих почву свободноживущих нематод в обоих слоях в оба учета отбора образцов показал, что нет существенных различий между вариантами фактора А, т.е. системы основной обработки почвы, базирующиеся на поверхностных обработках, создают одинаковые условия обитания для указанной фауны, как и при ежегодной вспашке (см. рис. 1). Следует отметить тенденцию снижения количества нематод при ежегодной поверхностной обработке.

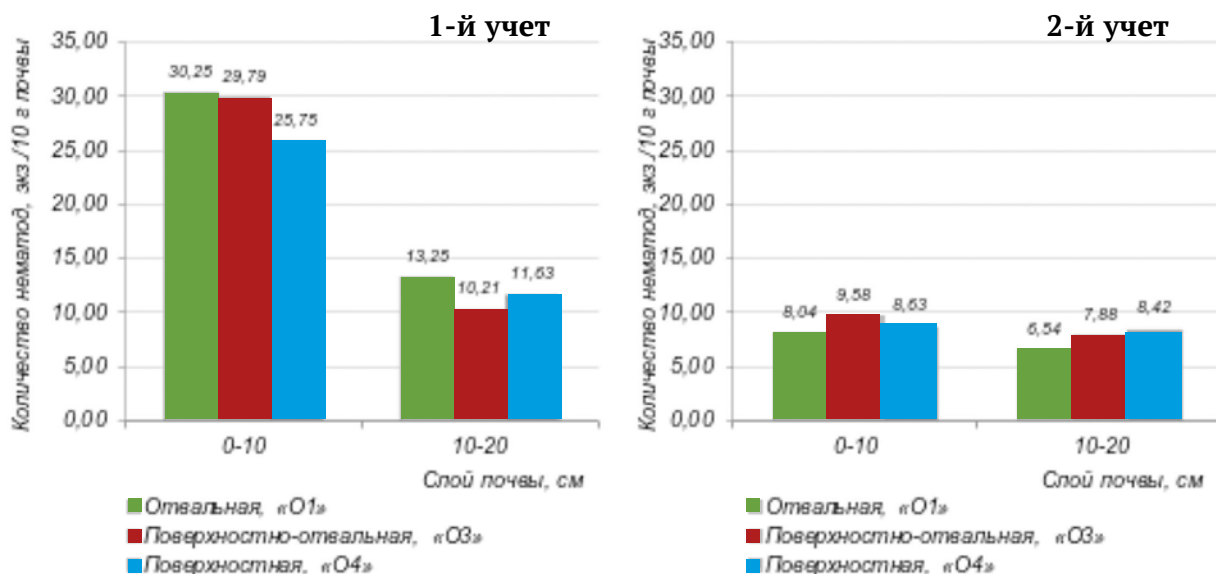


Рисунок 1 – Изменение количества нематод в зависимости от систем основной обработки почвы в среднем по факторам, экз./10 г почвы

Примечание. 1-й учет: HCP_{05} для слоя 0-10 см $F_{\phi} < F_{05}$; HCP_{05} – для слоя 10-20 см $F_{\phi} < F_{05}$; 2-й учет: HCP_{05} для слоя 0-10 см $F_{\phi} < F_{05}$; HCP_{05} – для слоя 10-20 см $F_{\phi} < F_{05}$



Последствие пшеничной соломы и внесение минеральных удобрений стимулировало наряду с ростом растений многолетних трав также увеличение плотности популяции почвенных нематод (см. рис. 2). При этом внесение удобрений действует через урожай

и зависящее от него количество растительных остатков, что подтверждается средней линейной зависимостью между численностью свободноживущих нематод с урожайностью ($r = 0,58$ при $P < 0,003\%$) и с содержанием гумуса ($r = 0,44$ при $P < 0,03\%$).

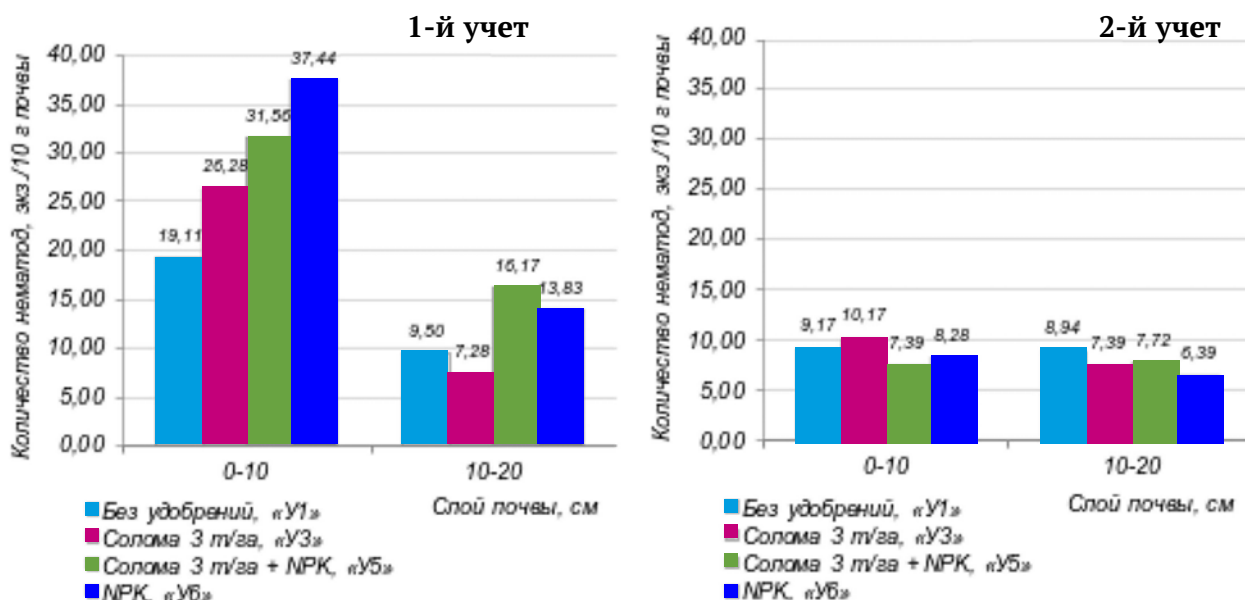


Рисунок 2 – Изменение количества нематод в зависимости от систем удобрения в среднем по факторам, экз./10 г почвы

Примечание. 1-й учет: HCP_{05} для слоя 0-10 см 18,01; HCP_{05} – для слоя 10-20 см $F_{\phi} < F_{05}$ 2-й учет: HCP_{05} для слоя 0-10 см $F_{\phi} < F_{05}$; HCP_{05} – для слоя 10-20 см $F_{\phi} < F_{05}$

Следует отметить, что на вариантах без соломы фактор удобрения оказался более значим для сообщества нематод, так, применение минеральных удобрений самостоятельно значительно повышало численность нематод в верхнем слое почвы (0-10 см). Внесение органики совместно с минеральными удобрениями способствовало формированию высокой численности фауны, но этот показатель имел тенденцию к увеличению. Кроме того, можно отметить специфическую реакцию почвенных нематод на внесенную солому в качестве органического удобрения, что выразилось в меньшем их количестве на вариантах «Солома 3 т/га» и «Солома 3 т/га + NPK» по сравнению с фоном «NPK».

Также в наших опытах исследовалось влияние последствие примененного в 2022 году гербицида «Агритокс» на численность почвенной фауны (см. рис. 3).

По данным проведенного анализа следует отметить, что последствие гербицида не приводило к достоверным изменениям численности свободноживущих нематод.

С целью определения зависимости обилия нематод агроценозов от антропогенной нагрузки для анализа были отобраны почвенные образцы залежных биоценозов. Ежегодное отчуждение биомассы сельскохозяйственных культур из агробиоценозов приводит к обеднению почвы питательными веществами и органическим веществом. Одним из последствий является потеря почвенного биоразнообразия [14]. Популяции нематод могут относительно быстро реагировать на заброшенность земель [15], на что влияют, например, различия в соотношении C:N исходных материалов [16].

Так, в первый учет численность нематод имеет наименьшие значения в почвенных образцах залежного биоценоза (табл.).

Сравнительный анализ численности свободноживущих почвенных нематод во втором учете показал, что в почвенных образцах биоценоза произошло увеличение общей численности изучаемой фауны на 15 экз./10 г почвы в целом по слою 0-20 см. Данные указывают на снижение обилия

нематод (–47,2%) в агроценозе по сравнению с биоценозом. Данные авторов статьи и данные, собранные другими исследователями

[17, 18], указывают на снижение фауны нематод в пахотных почвах под воздействием сельскохозяйственной нагрузки.

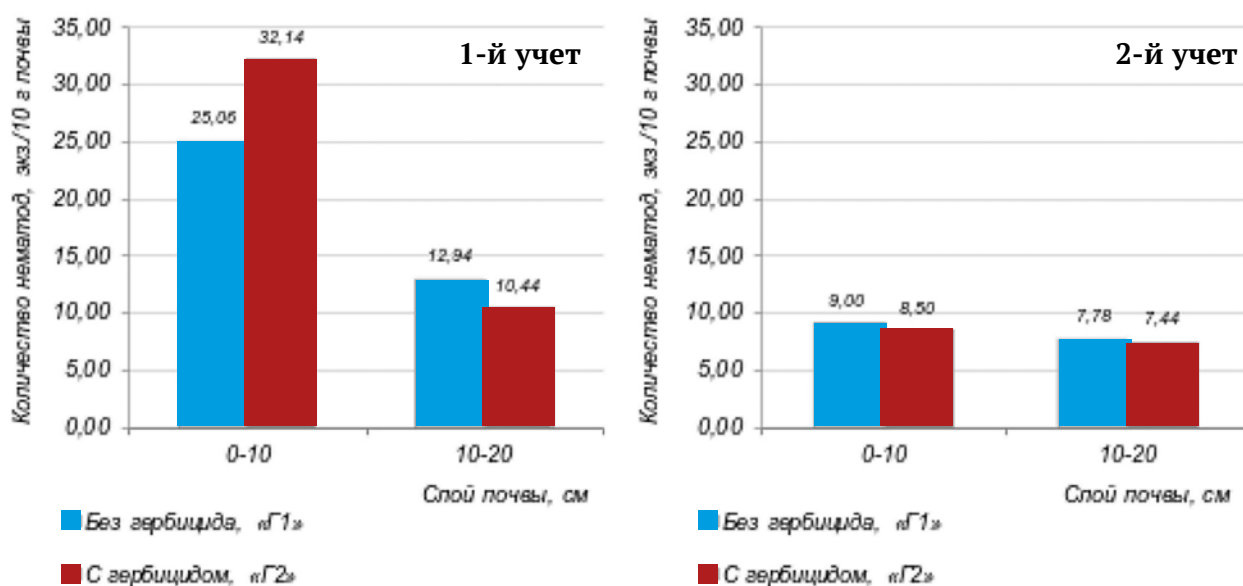


Рисунок 3 – Изменение количества нематод в зависимости от систем защиты растений от сорняков в среднем по факторам, экз./10 г почвы

Примечание. 1-й учет: HCP_{05} для слоя 0-10 см $F_{\phi} < F_{05}$; HCP_{05} – для слоя 10-20 см $F_{\phi} < F_{05}$; 2-й учет: HCP_{05} для слоя 0-10 см $F_{\phi} < F_{05}$; HCP_{05} – для слоя 10-20 см $F_{\phi} < F_{05}$

Таблица – Численность нематод в разных экосистемах, экз./10 г почвы

Экосистема	1-й учет			2-й учет		
	слой почвы, см					
	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20
Агроббиоценоз	28,60	11,69	20,15	8,75	7,61	8,19
Залежный биоценоз	1,00	0	0,50	10,00	21,00	15,50

Заключение

Изучение влияния агротехнических приемов на почвообитающих нематод показало, что популяции нематод являются очень чувствительной биологической тест-системой, способной улавливать изменения, происходящие в почвенной экосистеме. На основании обилия нематодофауны можно сказать, что агротехнические приемы, используемые

для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур (обработка почвы, внесение удобрений, гербициды), являются более сильным фактором, влияющим на почвенных нематод. В целом данный показатель достаточно информативен и может быть использован для выявления особенностей агроценозов и оценки состояния почвенных экосистем.

Список источников

1. Зинченко М. К. Система биологических показателей при оценке экологического состояния серой лесной почвы на примере стационарного опыта. Текст : непосредственный // Владимирский Земледелец. 2022. №1. С. 9–15.
2. Ерёмин Д. И., Каюгина С. М. Агрофизические свойства тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья. Текст : непосредственный // Вестник Курганской ГСХА. 2022. №2 (42). С. 3–10.
3. Шмидт А. Г., Аксенова Ю. В. Влияние хозяйственной деятельности земледельцев на состояние плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения южной лесостепи Омской области. Текст : непосредственный // Вестник ОмГАУ. 2022. №1(45). С. 64–74.



4. Рубцова А. А., Ларионов Ю. С. Оценка информативности показателей плодородия почв. Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. №1. С. 240–246.
5. Шумилова Л. П., Куимова Н. Г. Методы биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния городских почв. Текст : непосредственный // М. В. Ломоносов – великий русский учёный-энциклопедист (к 300-летию со дня рождения посвящается): материалы Амурской межвузовской научно-практической конференции, 22-23 октября 2011 года ; под общей редакцией Л. Г. Колесниковой. Благовещенск. 2011. С. 108–114.
6. Кудрин А. А., Сущук А. А. Методы исследования сообществ почвенных нематод. Текст : непосредственный // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Т. 7. № 2. С. 44–71.
7. Mineral and organic fertilization alters the microbiome of a soil nematode *Dorylaimus stagnalis* and its resistome. Text : direct / F. Zheng, D. Zhu, M. Giles, T. Daniell, R. Neilson, Y. G. Zhu, X. R. Yang // Sci Total Environ. 2019. Aug 25; 680:70-78.
8. Гаврилова М. Ю., Стогниенко О. И. Влияние агроэкологических условий на видовой состав почвенных фитопатогенных нематод. Текст : непосредственный // Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 288–289.
9. Потенциальная засорённость почвы при разных технологиях возделывания культур. Текст : непосредственный / М. Ю. Иванова, Е. В. Чебыкина, П. А. Котьяк // Вестник АПК Верхневолжья 2023. № 1(61). С. 24–31.
10. Green Cover: Soil Health Resource Guides: [site]. Text : electronic. 2022. URL: <https://greencover.com/freeguides/> (date of the application: 23.10.2023). Access mode: free.
11. Effects of straw mulching practices on soil nematode communities under walnut plantation. Text : electronic / D. Song, A. Tariq, K. Pan et al. Sci Rep 10, 15351 (2020). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72530-5>.
12. Влияние нематод на развитие болезней корневой системы и методы снижения их численности. Текст : непосредственный / О. И. Стогниенко, М. Ю. Гаврилова, Е. С. Герр, А. А. Шамин, О. К. Боронтов // Сахарная свекла. 2022. № 5. С. 27–30.
13. Симонович Е. И. Анализ экосистемной роли почвенной фауны в процессе формирования почвенного плодородия. Текст : непосредственный // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 10-1. С. 108–110.
14. Adl S. M., Coleman D. C., Read F. Slow recovery of soil biodiversity in sandy loam soils of Georgia after 25 years of no-tillage management. Text : electronic // Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 114. Issues 2-4. 2006. Pages 323-334. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.019>.
15. Hanel L. Recovery of soil nematode populations from cropping stress by natural secondary succession to meadow land. Text : direct // Applied Soil Ecology. 2003. Т. 22. № 3. С. 255–270. DOI:10.1016/S0929-1393(02)00152-X.
16. Ferris H., Matute M. M. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. Text : direct // Applied Soil Ecology. 2003. №23. 93-110. DOI:10.1016/S0929-1393(03)00044-1.
17. Seasonal dynamics and vertical distribution of plant-feeding nematode communities in grasslands. Text : electronic / B. C. Verschoor, R.-G.-M. de Goede, Jan-Willem de Hoop, F. W. de Vries // Pedobiologia. 2001. Volume 45. Issue 3. Pages 213-233. URL: <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00081>.
18. Матвеева Е. М., Сущук А. А., Калинкина Д. С. Почвенные нематоды северных лугов и агроценозов как биоиндикаторы степени трансформации почвенных экосистем. Текст : непосредственный // Экология. 2023. Т. 4. № 4. С. 291–301. DOI: 10.31857/S0367059723040078.

References

1. Zinchenko M. K. Sistema biologicheskikh pokazatelej pri ocenke ekologicheskogo sostoyaniya seroj lesnoj pochvy na primere stacionarnogo opyta. Tekst : neposredstvennyj // Vladimirkij Zemledec. 2022. №1. С. 9–15.

2. Eryomin D. I., Kayugina S. M. Agrofizicheskie svoystva tyomno-seryh lesnyh pochv Severnogo Zaural'ya. Tekst : neposredstvennyj // Vestnik Kurganskoj GSKHA. 2022. №2 (42). S. 3–10.
3. Shmidt A. G., Aksenova Yu. V. Vliyanie hozyajstvennoj deyatel'nosti zemlepol'zovatelej na sostoyanie plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya yuzhnoj lesostepi Omskoj oblasti. Tekst : neposredstvennyj // Vestnik OmGAU. 2022. №1(45). S. 64–74.
4. Rubcova A. A., Larionov Yu. S. Ocenka informativnosti pokazatelej plodorodiya pochv. Tekst : neposredstvennyj // Interekspo Geo-Sibir'. 2021. №1. S. 240–246.
5. Shumilova L. P., Kuimova N. G. Metody bioindikacii i biotestirovaniya v ocenke ekologicheskogo sostoyaniya gorodskih pochv. Tekst : neposredstvennyj // M. V. Lomonosov – velikij russkij uchyonyj-enciklopedist (k 300-letiyu so dnya rozhdeniya posvyashchaetsya): materialy Amurskoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 22-23 oktyabrya 2011 goda ; pod obshchej redakciej L. G. Kolesnikovoj. Blagoveshchensk. 2011. S. 108–114.
6. Kudrin A. A., Sushchuk A. A. Metody issledovaniya soobshchestv pochvennyh nematod. Tekst : neposredstvennyj // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. T. 7. № 2. S. 44–71.
7. Mineral and organic fertilization alters the microbiome of a soil nematode *Dorylaimus stagnalis* and its resistome. Text : direct / F. Zheng, D. Zhu, M. Giles, T. Daniell, R. Neilson, Y. G. Zhu, X. R. Yang // *Sci Total Environ.* 2019. Aug 25; 680:70-78.
8. Gavrilova M. Yu., Stognienko O. I. Vliyanie agroekologicheskikh uslovij na vidovoj sostav pochvennyh fitopatogennyh nematod. Tekst : neposredstvennyj // *Biosfera.* 2022. T. 14. № 4. S. 288–289.
9. Potencial'naya zasoryonnost' pochvy pri raznyh tekhnologiyah vozdeleyvaniya kul'tur. Tekst : neposredstvennyj / M. Yu. Ivanova, E. V. Chebykina, P. A. Kotyak // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya* 2023. № 1(61). S. 24–31.
10. Green Cover: Soil Health Resource Guides: [site]. Text : electronic. 2022. URL: <https://greencover.com/freeguides/> (date of the application: 23.10.2023). Access mode: free.
11. Effects of straw mulching practices on soil nematode communities under walnut plantation. Text : electronic / D. Song, A. Tariq, K. Pan et al. *Sci Rep* 10, 15351 (2020). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72530-5>.
12. Vliyanie nematod na razvitie boleznej kornevoj sistemy i metody snizheniya ih chislenosti. Tekst : neposredstvennyj / O. I. Stognienko, M. Yu. Gavrilova, E. S. Gerr, A. A. Shamin, O. K. Borontov // *Saharnaya svekla.* 2022. № 5. S. 27–30.
13. Simonovich E. I. Analiz ekosistemnoj roli pochvennoj fauny v processe formirovaniya pochvennogo plodorodiya. Tekst : neposredstvennyj // *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya.* 2013. № 10-1. S. 108–110.
14. Adl S. M., Coleman D. C., Read F. Slow recovery of soil biodiversity in sandy loam soils of Georgia after 25 years of no-tillage management. Text : electronic // *Agriculture, Ecosystems & Environment.* Volume 114. Issues 2-4. 2006. Pages 323-334. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.019>.
15. Hanel L. Recovery of soil nematode populations from cropping stress by natural secondary succession to meadow land. Text : direct // *Applied Soil Ecology.* 2003. T. 22. № 3. S. 255–270. DOI:10.1016/S0929-1393(02)00152-X.
16. Ferris H., Matute M. M. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. Text : direct // *Applied Soil Ecology.* 2003. №23. 93-110. DOI:10.1016/S0929-1393(03)00044-1.
17. Seasonal dynamics and vertical distribution of plant-feeding nematode communities in grasslands. Text : electronic / B. C. Verschoor, R.-G.-M. de Goede, Jan-Willem de Hoop, F. W. de Vries // *Pedobiologia.* 2001. Volume 45. Issue 3. Pages 213-233. URL: <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00081>.



18. Matveeva E. M., Sushchuk A. A., Kalinkina D. S. Pochvennye nematody severnyh lugov i agrocenozov kak bioindikatory stepeni transformacii pochvennyh ekosistem. Tekst : neposredstvennyj // Ekologiya. 2023. T. 4. № 4. S. 291–301. DOI: 10.31857/S0367059723040078.

Сведения об авторах

Полина Алексеевна Котьяк – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры экологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», ORCID: 0000-0003-1344-3380.

Софья Александровна Галицкая – обучающаяся по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

Information about the authors

Polina A. Kotyak – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Docent of the Department of Ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Yaroslavl State Agrarian University», ORCID 0000-0003-1344-3380.

Sofia A. Galitskay – student in the field of training 35.03.03 Agrochemistry and Agro-soil Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Yaroslavl State Agrarian University».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Котьяк П. А., Галицкая С. А., 2024

© Kotyak P. A., Galitskay S. A., 2024

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

Научная статья

УДК 636.2:636.084.41:619: 612.015.3: 616.151:665.117

doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_42

ПРОДУКТИВНОСТЬ, БАЛАНС АЗОТА И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У КОРОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ В РАЦИОН РАЗНОГО УРОВНЯ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО РАПСОВОГО ШРОТА

Иван Алексеевич Анискин¹, Николай Петрович Буряков²

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹ ivananiskin2003@mail.ru

² n.buryakov@rgau-msha.ru

Аннотация. В настоящее время для получения максимальной продуктивности лактирующих животных необходимо управлять не только количеством сырого протеина в рационе, но и контролировать оптимальное соотношение расщепляемого и нерасщепляемого протеина. Для реализации данной цели рекомендуется использовать в кормлении лактирующих коров ферментированный рапсовый шрот, полученный методом твердофазной ферментации.

В работе представлены данные об эффективности использования разного уровня ферментированного рапсового шрота в кормлении лактирующих коров. В ходе исследования были определены: молочная продуктивность, баланс азота, биохимические показатели крови, а также изучен рациональный уровень ввода ферментированного рапсового шрота в рационы. Было установлено, что замена 50 % рапсового нативного шрота на ферментированный рапсовый способствует улучшению протеиновой питательности рациона, а также положительно влияет на показатели молочной продуктивности. Коровы первой опытной группы характеризовались наибольшей молочной продуктивностью, как натуральной, так и 4%-ной жирности молока, что в свою очередь способствовало увеличению валового выхода молочного белка. Результаты балансового опыта показали, что у животных первой и второй опытных групп, получавших ферментированный рапсовый шрот, наблюдается положительный среднесуточный баланс азота, на основании чего можно предположить, что индекс осеменения и сервис-период у этих животных будут меньше.

Ключевые слова: ферментированный рапсовый шрот, баланс азота, молочная продуктивность, биохимические показатели крови, лактирующие коровы

Для цитирования: Анискин И. А., Буряков Н. П. Продуктивность, баланс азота и биохимические показатели крови у коров при включении в рацион разного уровня ферментированного рапсового шрота // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 42-48.

PRODUCTIVITY, NITROGEN BALANCE AND BLOOD BIOCHEMICAL PARAMETERS IN COWS WHEN DIFFERENT LEVELS OF FERMENTED RAPESEED MEAL ARE INCLUDED IN THE DIET

Ivan A. Aniskin¹, Nikolay P. Buryakov²

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia

¹ ivananiskin2003@mail.ru

² n.buryakov@rgau-msha.ru

Abstract. Currently, in order to maximize the productivity of lactating animals, it is necessary to manage not only the amount of crude protein in the diet, but also to control the optimal ratio of cleavable and non-cleavable protein. To achieve this goal, it is recommended to use fermented rapeseed meal obtained by solid-phase fermentation in feeding lactating cows. The paper presents data on the effectiveness of using different levels of fermented rapeseed meal in feeding lactating cows. During the study, milk productivity, nitrogen balance, blood biochemical parameters were determined, and the rational level of introduction of fermented rapeseed meal into diets was studied. It was found that the replacement of 50% of rapeseed native meal with fermented rapeseed improves the protein nutrition of the diet, as well as has a positive effect on milk productivity. Cows of the first experimental group were characterized by the highest milk productivity, both natural and 4% fat content of milk, which in turn contributed to an increase in the gross yield of milk protein. The results of the balance experiment showed that animals of the first and second experimental groups receiving fermented rapeseed meal have a positive average daily nitrogen balance, on the basis of which it can be assumed that the insemination index and service period of these animals will be less.

Keywords: fermented rapeseed meal, nitrogen balance, milk productivity, blood biochemical parameters, lactating cows

For citation: Aniskin I. A., Buryakov N. P. Productivity, nitrogen balance and biochemical parameters of blood in cows when including in the diet different levels of fermented rapeseed meal // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. №1 (13). Pp. 42-48.

Введение

Протеин, попадая в рубец, подвергается расщеплению под действием ферментов и затем используется микрофлорой рубца для синтеза белка. Необходимо отметить, что микробиальный белок не может полностью удовлетворить потребности высокопродуктивных животных

в незаменимых аминокислотах, так как его биологическая ценность составляет порядка 65-70%, в то время как нерасщепляемая фракция протеина способна проходить транзитом рубец, не подвергаясь при этом воздействию процессов пищеварения. Нерасщепляемый протеин обладает соответствующим составом,



содержит заменимые и незаменимые аминокислоты, которые могут усваиваться в первоизданном виде, без необходимости трансформации в белок микрофлоры рубца, при этом экономя энергию. В связи с чем возникает необходимость поиска альтернативных источников кормов с высоким содержанием нерасщепляемого протеина.

Цель исследования – изучение продуктивности лактирующих коров и качества молока при включении в рацион разного уровня ферментированного рапсового шрота.

Были поставлены следующие задачи: изучить молочную продуктивность и качество молока, определить среднесуточный баланс азота и биохимические показатели крови при использовании разного уровня ферментированного рапсового шрота в рационах коров.

Для достижения цели в хозяйстве ООО «Дельта-Ф» Сергиево-Посадского района Московской области были проведены научно-хозяйственные и физиологические опыты. Объектами исследования стали коровы голштинской породы, а также ферментированный рапсовый шрот. Период раздоя составил 92 дня. Опыт проводили методом

сбалансированных групп-аналогов ($n = 15$).

На момент опыта животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. В хозяйстве практикуется система привязного содержания животных. Все коровы были клинически здоровыми.

Коровы контрольной группы получали основной рацион с добавлением 2,5 кг традиционного рапсового шрота. Питательность рациона – 22,4 ЭКЕ, содержание сырого протеина – 3579 г, при этом на долю нерасщепляемого протеина приходится 35,7% от всего белка корма. В свою очередь, коровы первой опытной группы в дополнение к основному рациону получали 1,25 кг натурального рапсового шрота и такое же количество ферментированного рапсового шрота. Благодаря замене 50% традиционного шрота на ферментированный рапсовый удалось добиться изменения соотношения расщепляемого (РП) и нерасщепляемого протеина (НРП) до значений 60,7:39,3%. Коровам второй опытной группы на фоне основного рациона скармливали 2,5 кг ферментированного рапсового шрота, что в результате позволило добиться изменения РП : НРП до уровня 57,2 : 42,8% (табл. 1).

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта

Группа	Количество коров, голов	Особенности кормления
Контрольная	15	Основной рацион (ОР) + 2,5 кг натурального рапсового шрота
1-я опытная	15	ОР + 1,25 кг натурального рапсового шрота + 1,25 кг ферментированного рапсового шрота
2-я опытная	15	ОР + 2,5 кг ферментированного рапсового шрота

Из каждой группы животных было отобрано по три головы в конце раздоя для проведения физиологического опыта. Стоит отметить, что раздача и учет кормов в этот период осуществлялись вручную. В течение каждого дня взвешивали количество заданных и остатков кормов.

Во время проведения балансового опыта были взяты пробы молока и кормов. Кроме этого проводили отбор средней пробы кала и мочи, а также их консервирование по общепринятым методикам.

Полученные в результате опыта данные подвергались статистической и математической обработке. Для этого применяли специализированное компьютерное программное обеспечение, используя методы корреляционного и дисперсного анализа. Оценку достоверности различий осуществляли с использованием t -критерия Стьюдента. Разность считали достоверной по сравнению с контролем при $P < 0,05$.

Результаты исследования

Молочная продуктивность животного является одним из основных показателей, благодаря которому можно оценить продуктивное действие рационов. В ходе опыта за 92 дня животные первой и второй опытных групп отличались наибольшими показателями суточного и валового удоев молока (табл. 2). Таким образом, у коров первой опытной группы наблюдали максимальный валовой удой молока натуральной и 4%-ной жирности по сравнению с контролем, и эти значения выше на 3,3 и 4,4% соответственно, разность достоверна ($P < 0,05$).

В сравнении с животными контрольной группы содержание белка и жира в молоке выше у коров опытных групп. Наибольший выход белка с молоком составил 104,9 кг, который был отмечен у животных первой опытной группы в сравнении с контролем, при этом разность достоверна ($P < 0,05$).

Таблица 2 – Молочная продуктивность коров за период раздоя

Показатель	Группа (n = 15)		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Валовой удой молока натуральной жирности, кг	3160,6±38,04	3266,1±25,62*	3190,8±41,89
Суточный удой молока натуральной жирности, кг/гол.	34,4±1,19	35,5±0,98	34,7±1,31
Валовой удой молока 4%-ной жирности, кг	3057,9±27,62	3192,6±30,43*	3111,0±25,38
Суточный удой молока 4%-ной жирности, кг	33,3±0,64	34,7±0,49	33,8±0,83
Массовая доля жира в молоке, %	3,87±0,19	3,91±0,30	3,90±0,14
Выход молочного жира, кг	122,3±3,65	127,7±2,86	124,4±3,62
Массовая доля белка в молоке, %	3,16±0,05	3,21±0,03	3,23±0,03
Выход молочного белка, кг	99,8±0,39	104,9±0,47*	102,9±1,01*
Сухое вещество, %	12,00±0,27	12,09±0,32	12,15±0,05
Содержание мочевины, мг/%	18,33±0,78	18,79±0,50	17,74±1,04

Примечание: * – разность достоверна при ($P < 0,05$) (при сравнении с контрольной группой).

В ходе опыта отмечено, что у коров контрольной группы наблюдалась наименьшая переваримость сырого протеина, которая составляла 67,61%. Однако включение в рацион животных разного уровня ферментированного рапсового шрота позволило добиться повышения переваримости протеина у коров первой и второй опытных групп.

Исходя из результатов обменного опыта, можно отметить, что коровы первой и второй опытных групп достоверно больше потребляли азота, чем животные контрольной группы. В конце раздоя коровы контрольной группы имели отрицательный баланс азота, который составлял $-1,71$ г, в то время как животные первой и второй опытных групп отличались положительным балансом азота. Также количество выделенного азота с молоком у коров, получавших разный уровень ферментированного рапсового шрота, было достоверно выше ($P < 0,05$), вследствие повышения молочной продуктивности (рис.).

Биохимический анализ крови является одним из основных методов диагностики, который позволяет в полной мере оценить работу систем организма, а также обнаружить нарушения водно-солевого обмена, своевременно выявить воспалительные процессы.

Благодаря исследованию проб крови появляется возможность оценить общее состояние здоровья животного, что в свою очередь помогает сделать необходимые выводы о влиянии кормления на процесс обмена веществ.

В целях исследования были проанализированы следующие показатели крови: билирубин общий, АСТ и АЛТ, мочевины, креатинин, общий белок, глюкоза, щелочная фосфатаза, лактатдегидрогеназа, альфа-амилаза общая.

Креатинин является важным показателем биохимического анализа крови, который позволяет судить о работе мышечной системы и почек. При правильной работе этих систем концентрация креатинина всегда сохраняется в пределах определенных значений.

Общий белок позволяет дать оценку общей концентрации всех белков крови.

Основным показателем белкового обмена является мочевины, которая служит индикатором распада протеина в рубце.

В целях оценки состояния обмена веществ у подопытных животных взяты пробы крови, подвергшиеся биохимическому анализу (табл. 3).

Важными индикаторами в обмене аминокислот выступают ферменты аминотрансферазы – АЛТ (аланинаминотрансфераза) и АСТ (аспартатаминотрансфераза). Небольшое количество этих ферментов может находиться в крови животного вследствие естественных физиологических процессов, но при этом высвобождение большого количества ферментов АЛТ и АСТ в кровь свидетельствует о нарушении работы печени. В результате заболевания печени (токсический или инфекционный гепатит, опухоль) печеночные клетки повреждаются, происходит нарушение проницаемости клеточных мембран,

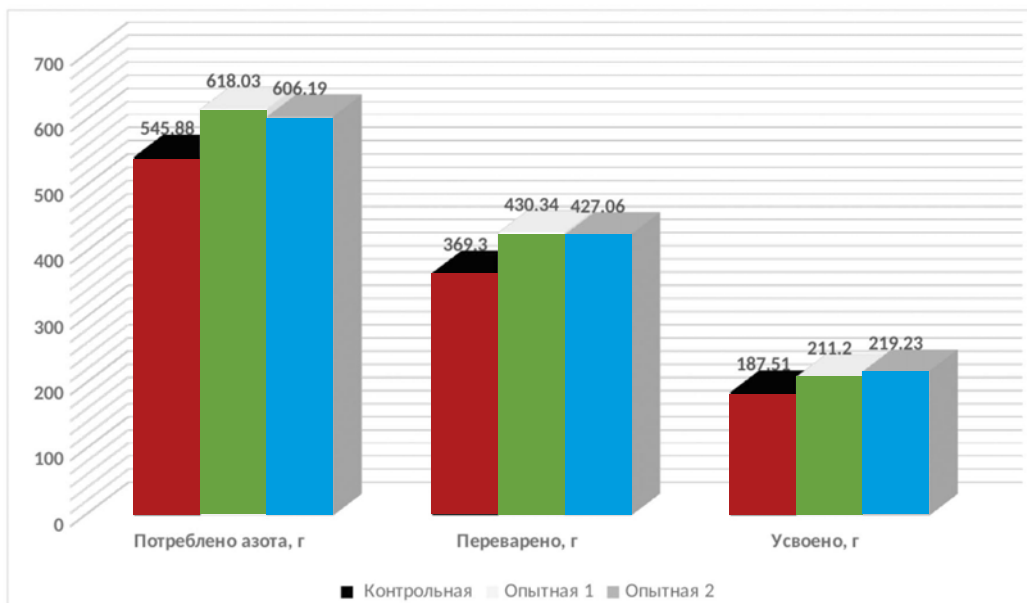


Рисунок – Среднесуточный баланс азота, г

Таблица 3 – Биохимические показатели крови в конце периода раздоя

Показатель	Единицы измерения	Физиологическая норма	Группа		
			контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Билирубин общий	мкмоль/л	1,6-8,15	3,80±0,07	4,07±0,14	3,97±0,22
АСТ	Ед/л	41-107	87,33±3,19	85,33±2,86	87,67±1,47
АЛТ	Ед/л	10-36	30,3±2,16	28,33±1,47	34,3±2,86
Мочевина	ммоль/л	2,4-7,5	4,03±0,14	3,90±0,14	4,87±0,36*
Креатинин	мкмоль/л	62-163	70,67±1,47	70,33±1,08	69,33±1,78
Общий белок	г/л	70-92	83,53±2,86	75,67±2,48*	80,67±2,27
Глюкоза	ммоль/л	2,0-4,8	2,10±0,29	2,43±0,23	2,47±0,22
Щелочная фосфатаза	Ед/л	31-163	48,33±1,06	43,67±1,08*	46,67±3,19
Лактатдегидрогеназа	Ед/л	692-1500	1106,33±20,10	971,67±20,98*	1006,23±27,65
Альфа-амилаза общая	Ед/л	<98	82,33±3,89	84,67±3,34	79,33±1,06

Примечание: * – разность достоверна при ($P < 0,05$) (при сравнении с контрольной группой).

что в свою очередь и приводит к большому выбросу АЛТ и АСТ в кровь.

Еще одним важным ферментом является щелочная фосфатаза. Данный фермент образуется в костной ткани, легких, кишечнике, плаценте и печени. Увеличение концентрации фермента в крови можно заметить при стельности животного, а также при заживлении костей или заболевании костной ткани и печени. Недостаточное количество фермента может характеризовать авитаминоз – нехватку витаминов С, В₁₂, недостаток цинка и магния, кроме этого, свидетельствовать о гипофункции щитовидной железы и анемии.

По итогам анализа крови было установлено, что все биохимические показатели крови коров контрольной и опытных групп находятся в пределах физиологической нормы, что подтверждает нормальное функционирование систем организма.

Благодаря анализу концентрации общего белка в сыворотке крови, белковому индексу и содержанию мочевины можно судить о соответствии необходимому уровню белкового питания животных по отношению к биологическим потребностям организма.

Таким образом, у коров первой опытной группы уровень общего белка и мочевины меньше по сравнению с животными кон-

трольной и второй опытной групп, при этом разность достоверна ($P < 0,05$).

Рацион коров первой опытной группы является более сбалансированным по протеиновой питательности, что обуславливает разность. В данном рационе количество расщепляемого протеина снижено до оптимальной нормы, при этом уровень нерасщепляемого протеина выше по сравнению с контролем. Рациональное соотношение доказывает эффективность использования протеина животными для производства молока, а также восстановление белков тела после отёла. Эти данные подтверждаются анализом молочной продуктивности (см. табл. 2) и балансом азота в организме коров (см. рис.).

Необходимо отметить, что у коров второй опытной группы уровень содержания глюкозы и мочевины выше по сравнению с контролем, однако количество общего белка ниже. Такая взаимосвязь свидетельствует о низком уровне обеспечения животных рубцово-расщепляемым протеином и чрезмерным количеством кишечного доступного протеина, а также низкой скоростью использования азота и глюкозы. Все это указывает на напряжённость в белковом обмене, который оказывает отрицательное влияние на печень. Аланинаминотрансфераза более

быстро реагирует на дисбаланс в соотношении расщепляемого и нерасщепляемого протеина в рационе. Повышенная концентрация АЛТ у коров контрольной и второй опытной групп свидетельствует о начале расстройств в работе печени. Замеченное снижение концентрации креатинина у животных второй опытной группы показывает нехватку протеина, доступного в рубце коровы, а также на потерю мышечной массы.

Выводы

В ходе исследования было выявлено, что замещение в кормовом рационе 1,25 кг традиционного рапсового шрота на 1,25 кг ферментированного позволяет добиться повышения молочной продуктивности коров в период раздоя ($P < 0,05$), валовой выход белка с молоком у животных 1-й опытной группы увеличился до уровня 104,9 кг в сравнении с 99,8 кг в контроле, разность достоверна ($P < 0,05$).

Таким образом, с целью увеличения показателей молочной продуктивности коров в период раздоя рекомендуется вводить в рацион 1,25 кг ферментированного рапсового шрота, а уровень нерасщепляемого протеина в рационах коров должен составлять не менее 39,3 %.

Список литературы

1. Алешин Д. Е. Белковый концентрат в кормлении лактирующих коров. Текст : непосредственный / Д. Е. Алешин // Сборник студенческих научных работ по материалам докладов 72-й Междунар. студ. науч.-практ. конф., посвященной 145-летию со дня рожд. А. Г. Дояренко. М. : РГАУ-МСХА, 2019. С. 541–543.
2. Борисов Н. Рацион КРС: формула идеального баланса. Текст : непосредственный / Н. Борисов // Эффективное животноводство. 2020. № 9 (166). С. 51–57.
3. Великанов В. В. Влияние оптимизации кормления лактирующих коров на биохимические показатели крови и состава молока. Текст : непосредственный / В. В. Великанов, А. Г. Марусич, Е. Н. Суденкова // Животноводство и ветеринарная медицина. 2021. № 1(40). С. 3–9.
4. Влияние белкового концентрата на продуктивность и переваримость питательных веществ рационов коров. Текст : непосредственный / Н. П. Буряков, М. А. Бурякова, А. С. Заикина [и др.] // Зыкинские чтения: Мат-лы Национальной науч.-практ. конф., посвященной памяти д.м.н., профессора Л. Ф. Зыкина / Под ред. О. С. Ларионовой, И. А. Сазоновой. Саратов : Саратовский ГАУ, 2020. С. 35–41.
5. Жуков И. В. Анализ биохимического состояния крупного рогатого скота импортной селекции. Текст : непосредственный / И. В. Жуков, А. А. Ушаков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 4. С. 118–121.
6. Лабораторная диагностика [справочное пособие]. Текст : непосредственный / Е. Н. Бурмистров, М. Д. Кинкладзе, И. Н. Белоусова и др. 2021. Выпуск № 6. 322 с.



7. Луговой М. М. Молочная продуктивность коров при включении в рацион кормовой добавки с повышенным уровнем содержания нерасщепляемого протеина и транзитного крахмала. Текст : непосредственный / М. М. Луговой, В. Е. Подольников, И. С. Луговая // БИО. 2021. № 4 (247). С. 20–25.
8. Буряков П., Бурякова М. А., Заикина А. С. [и др.]. Текст : непосредственный // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК: Мат-лы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. Курск : Курская ГСХА, 2020. Ч. 2. С. 94–103.
9. Разумовский Н. Аминокислоты – заменимые и незаменимые. Текст : непосредственный / Н. Разумовский, Д. Соболев // Животноводство России. 2020. № 2. С. 59–63.
10. Изменчивость азота мочевины в молоке и состав общего смешанного рациона молочного скота на северо-востоке США. Текст : непосредственный : краткое сообщение / А. Р. Христов, М. Харпер, Д. Ох, Ф. Гиалонго, Д. С. Лопес, Г. Кудок, Д. Клей, Р. Ворд, Л. Е. Чейс // Northeastern United States / Dairy Sci. 2018. 101(2): 1579-1584.

References

1. Aleshin D. E. Belkovyj koncentrat v kormlenii laktiruyushchih korov. Tekst : neposredstvennyj / D. E. Aleshin // Sbornik studencheskih nauchnyh rabot po materialam dokladov 72-j Mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj 145-letiyu so dnya rozhd. A. G. Doyarenko. M. : RGAU-MSKHA, 2019. S. 541–543.
2. Borisov N. Racion KRS: formula ideal'nogo balansa. Tekst : neposredstvennyj / N. Borisov // Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2020. № 9 (166). S. 51–57.
3. Velikanov V. V. Vliyanie optimizatsii kormleniya laktiruyushchih korov na biohimicheskie pokazateli krovi i sostava moloka. Tekst : neposredstvennyj / V. V. Velikanov, A. G. Marusich, E. N. Sudenkova // Zhivotnovodstvo i veterinarnaya medicina. 2021. № 1(40). S. 3–9.
4. Vliyanie belkovogo koncentrata na produktivnost' i perevarimost' pitatel'nyh veshchestv racionov korov. Tekst : neposredstvennyj / N. P. Buryakov, M. A. Buryakova, A. S. Zaikina [i dr.] // Zykinskie chteniya: Mat-ly Nacional'noj nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj pamyati d.m.n., professora L. F. Zykina / Pod red. O. S. Larionovoj, I. A. Sazonovoj. Saratov : Saratovskij GAU, 2020. S. 35–41.
5. Zhukov I. V. Analiz biohimicheskogo sostoyaniya krupnogo rogatogo skota importnoj selekcii. Tekst : neposredstvennyj / I. V. Zhukov, A. A. Ushakov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij. 2014. № 4. S. 118–121.
6. Laboratornaya diagnostika [spravochnoe posobie]. Tekst : neposredstvennyj / E. N. Burmistrov, M. D. Kinkladze, I. N. Belousova i dr. 2021. Vypusk № 6. 322 s.
7. Lugovoj M. M. Molochnaya produktivnost' korov pri vkluchenii v racion kormovoj dobavki s povyshennym urovnem sodержaniya nerasshcheplyaemogo proteina i tranzitnogo krahmala. Tekst : neposredstvennyj / M. M. Lugovoj, V. E. Podol'nikov, I. S. Lugovaya // БИО. 2021. № 4 (247). С. 20–25.
8. Buryakov P., Buryakova M. A., Zaikina A. S. [i dr.]. Tekst : neposredstvennyj // Aktual'nye problemy molodezhnoj nauki v razvitii APK: Mat-ly Vserossijskoj (nacional'noj) nauch.-prakt. konf. – Kursk : Kurskaya GSKHA, 2020. CH. 2. С. 94–103.
9. Razumovskij N. Aminokisloty – zamenimye i nezamenimye. Tekst : neposredstvennyj / N. Razumovskij, D. Soboлев // Zhivotnovodstvo Rossii. 2020. № 2. S. 59–63.
10. Izmenchivost' azota mocheviny v moloke i sostav obshchego smeshannogo raciona molochnogo skota na severo-vostoke SSHA. Tekst : neposredstvennyj : kratkoe soobshchenie / A.R. Hristov, M. Harper, D. Oh, F. Gialongo, D. S. Lopes, G. Kudok, D. Klej, R. Vord, L. E. Chejs // Northeastern United States / Dairy Sci. 2018. 101(2): 1579-1584.



Сведения об авторах

Иван Алексеевич Анискин – студент 3-го курса Института зоотехнии и биологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева».

Николай Петрович Буряков – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой кормления животных Института зоотехнии и биологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», ORCID:0000-0002-6776-0835.

Information about the authors

Ivan A. Aniskin – 3rd year student of the Institute of Zootechnics and Biology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazeva».

Nikolay P. Buryakov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Feeding of the Institute of Zootechnics and Biology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazeva», ORCID:0000-0002-6776-0835.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Анискин И. А., Буряков Н. П., 2024

© Aniskin I. A., Buryakov N. P., 2024



Научная статья
УДК 619:612.015.6
doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_49

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ОТДЕЛЬНЫХ БИОХИМИЧЕСКИХ И ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРОВЫ

Надежда Михайловна Виноградова¹, Татьяна Автаева², Матвей Алексеевич Прохоров³,
Никита Евгеньевич Горностаев⁴, Наталья Петровна Здюмаева⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваяево, Россия

¹ nadyav181@yandex.ru

² tanyaavtaeva03@gmail.com

³ vkjmat@gmail.com

⁴ gornostayev.nik@inbox.ru

⁵ ztb_znp@mail.ru

Аннотация. Целью работы была оценка информативности отдельных показателей биологических жидкостей коровы, используемых в качестве стандартных диагностических критериев, а также их комплексный анализ в сочетании с содержанием в организме витамина С. Материалом для исследования послужили биологические жидкости (кровь, молозиво, молоко и моча) коровы, содержащейся в условиях вивария. Выявлены сезонные колебания концентрации гемоглобина, общего белка, кислотной емкости крови, наличия патологических компонентов мочи и содержания витамина С, связанные с физиологическим состоянием коровы. В статье обсуждается значимость комплексного анализа исследуемых показателей для диагностики.

Ключевые слова: диагностические показатели, кровь, моча, молоко, корова, аскорбиновая кислота, витамин С

Для цитирования: Виноградова Н. М., Автаева Т., Прохоров М. А., Горностаев Н. Е., Здюмаева Н. П. Особенности сезонной динамики отдельных биохимических и гематологических показателей коровы // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 49-53.

FEATURES OF SEASONAL DYNAMICS OF INDIVIDUAL BIOCHEMICAL AND HEMATOLOGICAL INDICATORS OF THE COW

Nadezhda M. Vinogradova¹, Tatyana Avtaeva², Matvey A. Prokhorov³, Nikita E. Gornostayev⁴,
Natalia P. Zdyumaeva⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

¹ nadyav181@yandex.ru

² tanyaavtaeva03@gmail.com

³ vkjmat@gmail.com

⁴ gornostayev.nik@inbox.ru

⁵ ztb_znp@mail.ru

Abstract. The aim of the work was to assess the informativeness of individual indicators of cow biological fluids used as standard diagnostic criteria, as well as their complex analysis in combination with the content of vitamin C in the body. The biological fluids (blood, colostrum, milk and urine) of a cow contained in a vivarium served as the material for the study. Seasonal fluctuations in the concentration of hemoglobin, total protein, acid capacity of blood, the presence of pathological components of urine and vitamin C content associated with the physiological state of the cow were revealed. The article discusses the importance of a comprehensive analysis of the studied indicators for diagnosis.

Keywords: diagnostic parameters, blood, urine, milk, cow, ascorbic acid, vitamin C

For citation: Vinogradova N. M., Avtaeva T., Prokhorov M. A., Gornostayev N. E., Zdyumaeva N. P. Features of seasonal dynamics of individual biochemical and hematological parameters of a cow // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. No. 1 (13). Pp. 49-53.

Введение

Биологические жидкости животного являются для ветеринара важнейшим источником информации, необходимой для оценки его функционального состояния и своевременного принятия мер в случае выявления патологии. При этом важно учитывать, что на значения их основных показателей боль-

шое влияние оказывают разные факторы, связанные с возрастом, полом животного, с условиями содержания, кормлением и т.д. Для племенных коров одним из таких факторов является стельность [1, 2].

Выявить отклонения от физиологических норм у каждого конкретного животного возможно при регулярном диспансерном

обследовании [3]. Однако в зависимости от числа и характера исследуемых показателей общая диспансеризация требует больших материальных и временных затрат и часто доступна только крупным хозяйствам, оснащенным дорогостоящим лабораторным оборудованием. Поэтому на практике в условиях ферм со сравнительно небольшим поголовьем диспансеризация проводится на выборках животных разных технологических групп.

Более оперативным и менее затратным методом своевременного выявления патологий, особенно связанных с нарушением обменных процессов, может являться постоянный и непрерывный контроль за состоянием здоровья коровы по минимальному набору наиболее информативных диагностических показателей, легко определяемых ветеринарным врачом.

Помимо общепринятых в клинической лабораторной диагностике биохимических и гематологических тестов, постоянно ведется поиск и других показателей, способных выполнять функцию биомаркеров состояния здоровья животных [1]. Один из таких показателей – аскорбиновая кислота. Для крупного рогатого скота аскорбиновая кислота не является незаменимым компонентом рациона, поскольку синтезируется в печени и почках животных из глюкозы и галактозы. Вместе с тем в литературе есть данные о том, что в организме коров и телят могут отмечаться значительные колебания содержания витамина С в зависимости как от условий внешней среды, так и физиологического состояния организма [4].

Целью нашей работы была оценка информативности отдельных диагностических показателей по выраженности их сезонных колебаний, а также их комплексный анализ в сочетании с содержанием в биологических жидкостях витамина С.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в учебной лаборатории биохимии Костромской ГСХА в 2022-2023 гг. Материалом для исследования послужили биологические жидкости (кровь, молозиво, молоко и моча) коровы, содержащейся в виварии на базе академии.

Забор биоматериала проводился в разные периоды лактации. Кровь брали в пробирки с антикоагулянтом перед кормлением утром. Молозиво, молоко и мочу отбирали в гер-

метично закрывающиеся контейнеры непосредственно перед анализом.

В крови определяли содержание гемоглобина и общего белка с использованием наборов реагентов ООО «Агат-Мед».

Кислотную емкость плазмы крови исследовали по А. В. Неводову. Определяли в моче наличие патологических компонентов: белка (пробой Роча), ацетоновых тел (пробой Лестраде), глюкозы (по реакции Троммера) и крови (кипячением со щелочью).

Определение витамина С в сыворотке крови, моче и молоке проводили титриметрически с раствором 2,6-дихлорфенолиндофенлята натрия до визуального установления розовой окраски после предварительного осаждения белков [5].

Численные значения показателей определяли минимум три раза в каждой пробе, рассчитывали среднее значение.

Результаты исследования

Результаты исследования содержания гемоглобина в крови коровы представлены на рисунке 1.

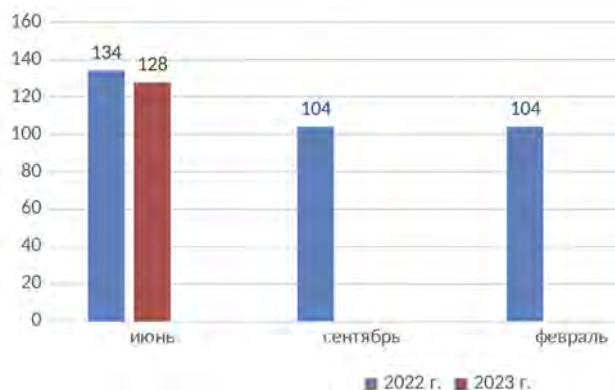


Рисунок 1 – Средние значения содержания гемоглобина (г/л) в крови коровы

При анализе выявлены колебания содержания гемоглобина в зависимости от сезона. Данные, полученные в осенний и зимний периоды, отличались более низкими значениями, что можно объяснить особенностями физиологического состояния коровы, связанными со стельностью. Стельность, особенно в поздние сроки, как известно, сопровождается повышением коагуляционного потенциала крови [6]. Снижение гемоконцентрации (примерно на 5%) может быть направлено на поддержание кислородтранспортной функции крови путем регуляции ее вязкости.



Сравнительно более высокие значения содержания общего белка в сыворотке крови были выявлены в сухостойный период, что также можно объяснить повышением концентрации компонентов гемостаза, имеющих белковую природу (рис. 2).

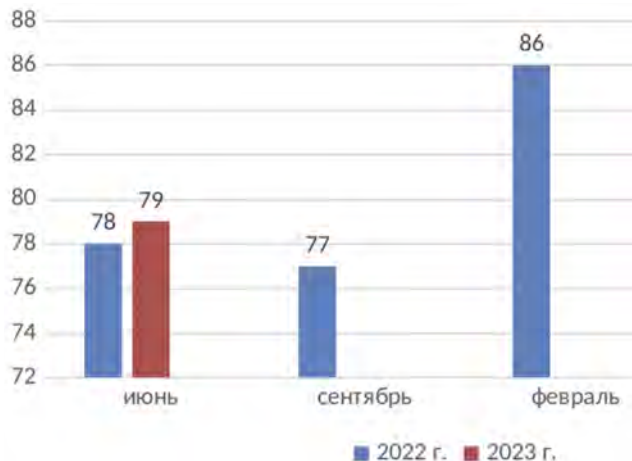


Рисунок 2 – Средние значения содержания общего белка (г/л) в плазме крови коровы

Информативным показателем, отражающим способность организма животного поддерживать гомеостаз, является кислотная емкость крови.

Снижение значения показателя (на 33%) отмечали в период сухостоя (рис. 3). По мнению ряда исследователей, подобные изменения связаны как с использованием в кормлении концентратов, так и с особенностями обмена веществ в данный период, характеризующийся интенсивным расходом питательных веществ и переключением на жир, как источник энергии [7].

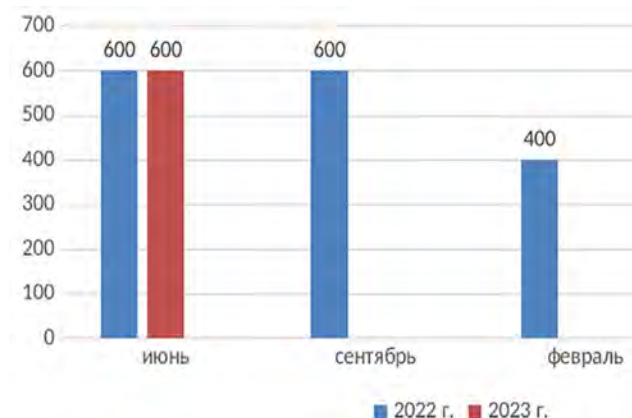


Рисунок 3 – Средние значения кислотной емкости (мг/100 мл) крови коровы

Результаты определения витамина С представлены на рисунке 4. Биоматериал для анализа забирали непосредственно сразу после отела и спустя 3,5 недели.

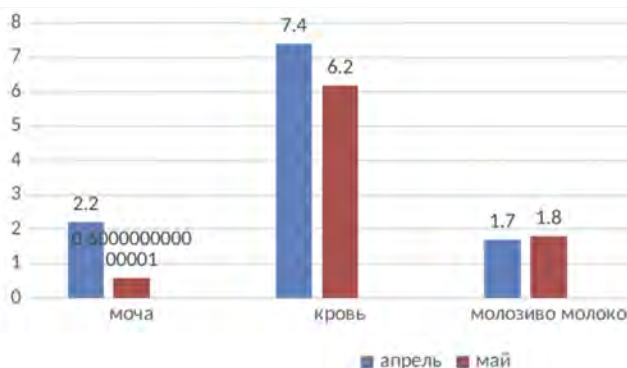


Рисунок 4 – Средние значения содержания аскорбиновой кислоты (мкг/мл) в биологических жидкостях коровы

В период нарастания молочной продуктивности отмечено снижение содержания витамина С в моче и крови, что можно связать с недостатком глюкозы, интенсивно расходуемой на синтез лактозы [8, 9]. При этом в молоке содержание аскорбиновой кислоты еще сохранялось на высоком уровне.

Косвенно подтверждают дефицит глюкозы при раздое и результаты исследования мочи, в которой в этот период было выявлено наличие кетовых тел.

Заключение

В ходе наблюдения выявлена сезонная динамика отдельных исследуемых показателей, что необходимо учитывать при диагностике и принятии решения о необходимости проведения более детального обследования животных. Изменение показателей может составлять от 5% (концентрации гемоглобина) до 33% (значение кислотной емкости крови).

Результаты определения аскорбиновой кислоты в биологических жидкостях в качестве диагностического критерия функционального состояния коровы показали перспективность проведения дальнейшей работы в этом направлении. Выявленные значения содержания витамина С в сыворотке на уровне 6-7 мкг/мл соответствуют нижней границе нормы, что требует систематического контроля его уровня и коррекции рациона.

Список литературы

1. Zaitsev S. Y., Bogolyubova N. V., Zhang X., Brenig B. Biochemical parameters, dynamic tensiometry and circulating nucleic acids for cattle blood analysis: a review. Text : direct // PeerJ. 2020 May 22; 8:e8997. doi: 10.7717/peerj.8997. PMID: 32509445; PMCID: PMC7247529.
2. Виноградова Н. М., Автаева Т., Здюмаева Н. П. Паспорт здоровья коровы. Текст : непосредственный // Сборник статей молодых учёных: Актуальные вопросы развития науки и технологий. Караваево, 2023. С. 77–85.
3. Зухрабов М. Г., Амиров Д. Р., Шагеева А. Р. Результаты диспансеризации коров молочного комплекса «Сюкеево». Текст : непосредственный // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-dispanserizatsii-korov-molochnogo-kompleksa-syukeevo>.
4. Matsui T. Vitamin C Nutrition in Cattle [Internet]. Text : electronic. Vol. 25, Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. Asian Australasian Association of Animal Production Societies; 2012. P. 597–605. URL: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2012.r.01>
5. Здюмаева Н. П. Биологическая химия: лабораторный практикум. Текст : непосредственный. Караваево : Костромская ГСХА, 2021. 73 с.
6. Плюта А. В. Свойства крови коров в конце второго триместра стельности. Текст : непосредственный // Животноводство и ветеринарная медицина. 2016. №4 (23).
7. Кошпаева Т. А. Нарушение кислотно-щелочного баланса в организме животных. Текст : электронный // Современные научные исследования и инновации. 2019. №12. Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2019/12/90724>.
8. Корельская Л. А. Содержание глюкозы в крови высокопродуктивного скота по периодам лактации и способам содержания как критерий оценки энергетического обмена. Текст : электронный / Л. А. Корельская, И. В. Гусаров, О. Д. Обряева, С. А. Коломиец // Сельскохозяйственная и животноводческая техника. 2005. Т. 5(2). DOI: 10.15838/alt.2022.5.2.3. Режим доступа: http://aztjournal.ru/article/29273?_lang=ru
9. Прохоров М. А., Горностаев Н. Е., Здюмаева Н. П. Содержание витамина С в молоке. Текст : непосредственный // Сборник статей молодых учёных: Актуальные вопросы развития науки и технологий. Караваево, 2023. С. 255–261.

References

1. Zaitsev S. Y., Bogolyubova N. V., Zhang X., Brenig B. Biochemical parameters, dynamic tensiometry and circulating nucleic acids for cattle blood analysis: a review. Text : direct // PeerJ. 2020 May 22; 8:e8997. doi: 10.7717/peerj.8997. PMID: 32509445; PMCID: PMC7247529.
2. Vinogradova N. M., Avtaeva T., Zdyumaeva N. P. Passport zdorov'ya korovy. Tekst : neposredstvennyj // Sbornik statej molodyh uchyonyh: Aktual'nye voprosy razvitiya nauki i tekhnologij. Karavaevo, 2023. S. 77–85.
3. Zuhrafov M. G., Amirov D. R., SHageeva A. R. Rezul'taty dispanserizatsii korov molochnogo kompleksa «Syukeevo». Tekst : neposredstvennyj // Uchenye zapiski KGAVM im. N. E. Baumana. 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-dispanserizatsii-korov-molochnogo-kompleksa-syukeevo>.
4. Matsui T. Vitamin C Nutrition in Cattle [Internet]. Text : electronic. Vol. 25, Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. Asian Australasian Association of Animal Production Societies; 2012. R. 597–605. URL: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2012.r.01>
5. Zdyumaeva N. P. Biologicheskaya himiya: laboratornyj praktikum. Tekst : neposredstvennyj. Karavaevo : Kostromskaya GSKHA, 2021. 73 s.
6. Plyuta A. V. Svoystva krovi korov v konce vtorogo trimestra stel'nosti. Tekst : neposredstvennyj // Zhivotnovodstvo i veterinarnaya medicina. 2016. №4 (23).
7. Koshpaeva T. A. Narushenie kislotno-shchelochnogo balansa v organizme zhivotnyh. Tekst : elektronnyj // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2019. №12. Rezhim dostupa: <https://web.snauka.ru/issues/2019/12/90724>.



8. Korel'skaya L. A. Soderzhanie glyukozy v krovi vysokoproduktivnogo skota po periodam laktacii i sposobam soderzhaniya kak kriterij ocenki energeticheskogo obmena. Tekst : elektronnyj / L. A. Korel'skaya, I. V. Gusarov, O. D. Obryaeva, S. A. Kolomic // Sel'skohozyajstvennaya i zhivotnovodcheskaya tekhnika. 2005. T. 5(2). DOI: 10.15838/alt.2022.5.2.3. Rezhim dostupa: http://aztjournal.ru/article/29273?_lang=ru
9. Prohorov M. A., Gornostaev N. E., Zdyumaeva N. P. Soderzhanie vitamina S v moloke. Tekst : neposredstvennyj // Sbornik statej molodyh uchyonyh: Aktual'nye voprosy razvitiya nauki i tekhnologij. Karavaevo, 2023. S. 255–261.

Сведения об авторах

Надежда Михайловна Виноградова – студентка 4-го курса факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Татьяна Автаева – студентка 4-го курса факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Матвей Алексеевич Прохоров – студент 3-го курса факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Никита Евгеньевич Горностаев – студент 3-го курса факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Наталья Петровна Здюмаева – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры анатомии и физиологии животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the authors

Nadiechda M. Vinogradova – 4th year student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Tatyana Avtaeva – 4th year student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Matvey A. Prokhorov – 3rd year student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Nikita E. Gornostaev – 3rd year student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Natalia P. Zdyumaeva – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Anatomy and Physiology of Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Виноградова Н. М., Автаева Т., Прохоров М. А., Горностаев Н. Е., Здюмаева Н. П., 2024

© Vinogradova N. M., Avtaeva T., Prokhorov M. A., Gornostaev N. E., Zdyumaeva N. P., 2024



Научная статья
УДК 639.32.043(470):(476)
doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_54

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ БЕЛКА В КОРМЛЕНИИ РЫБЫ*

Жанна Викторовна Кошак¹, Анна Николаевна Гринько², Дмитрий Евгеньевич Алешин³,
Николай Петрович Буряков⁴

^{1,2} Институт рыбного хозяйства, Минск, Республика Беларусь

^{3,4} Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹ koshak.zn@gmail.com

² annarusina80@gmail.com

³ d.aleshin@rgau-msha.ru

⁴ n.buryakov@rgau-msha.ru

Аннотация. Цель данного исследования – сравнение питательности разных белковых кормов, которые являются необходимыми для применения в составе комбикормов для аквакультуры.

В статье приведены особенности протеинового питания рыбы и сведения по химическому составу белковых кормов в рыбоводстве. В ходе исследования было определено содержание сухого вещества, сырой золы, сырого протеина и сырой клетчатки в белковых кормах, которые могут быть использованы при расчете рецептов комбикормов для рыб.

Установлено, что активная кислотность (pH) некоторых белковых кормов, таких как соевый и подсолнечный шроты, имеет слабощелочную реакцию. Однако, кислотность соевого шрота выше на 50% по сравнению с подсолнечным шротом, что характеризует среду как кислую и ограничивает в перспективе использование нейтральных и щелочных ферментов и микроорганизмов, чувствительных к кислым средам при производстве растительно-рыбных гидролизатов.

Исследования показали, что лучше всего переваривается гидролизат с рапсовым жмыхом и рыбными отходами, что оказалось выше, чем переваримость сырого протеина рапсового шрота.

Ключевые слова: корма, аквакультура, белки, гидролизат, протеиновая питательность, аминокислоты

Для цитирования: Кошак Ж. В., Гринько А. Н., Алешин Д. Е., Буряков Н. П. Альтернативные источники белка в кормлении рыбы // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 54–62.

ALTERNATIVE SOURCES OF PROTEIN IN FISH NUTRITION

Zhanna V. Koshak¹, Anna N. Grinko², Dmitry E. Aleshin³, Nikolay P. Buryakov⁴

^{1,2} Institute of Fisheries, Minsk, Republic of Belarus

^{3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia

¹ koshak.zn@gmail.com

² annarusina80@gmail.com

³ d.aleshin@rgau-msha.ru

⁴ n.buryakov@rgau-msha.ru

Abstract. The purpose of this study is to compare the nutritional value of different protein feeds, which are necessary for use in compound feeds for aquaculture.

The article presents the features of protein nutrition of fish and information on the chemical composition of protein feeds in fish farming. In the course of the study, the content of dry matter, crude ash, crude protein and crude fiber in protein feeds was determined, which can be used in calculating recipes for mixed feeds for fish.

It has been established that the active acidity (pH) of some protein feeds, such as soy and sunflower meal, has a slightly alkaline reaction. However, the acidity of soybean meal is 50% higher compared to sunflower meal, which characterizes the medium as acidic and limits the use of neutral and alkaline enzymes and microorganisms sensitive to acidic media in the production of vegetable and fish hydrolysates in the future.

Studies have shown that hydrolysate with rapeseed cake and fish waste is best digested, which turned out to be higher than the digestibility of raw protein from rapeseed meal.

Keywords: feed, aquaculture, proteins, hydrolysate, protein nutrition, amino acids

For citation: Koshak Zh.V., Grinko A. N., Aleshin D. E., Buryakov N. P. Productivity, nitrogen balance and biochemical blood parameters in cows when fermented rapeseed meal is included in the diet of different levels // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. № 1 (13). Pp. 54–62.

Введение

Повышение продуктивности товарного рыбоводства является перспективной задачей, обеспечивающей все слои населения Республики Беларусь [1] и Российской Федерации [2] дешевым, полноценным белком животного происхождения [3]. Согласно данным Khalil H. S. (2019) и Maulu S. (2021), питательность рыбы обусловлена высоким содержанием белка (18–20%) в мышечной ткани и восемью незаменимыми аминокислота-

ми, особенно лизином, метионином и цистеином [4, 5].

В ряде азиатских стран на долю рыбы в суточном рационе человека приходится 50% животного белка, который обладает высоким уровнем незаменимых жирных кислот, полиненасыщенных жирных кислот, богатым источником витаминов группы В, а также витаминов А и D [6, 7]. Продукты рыболовства являются важной частью международной торговли, стоимость которой

*Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации специальной части гранта «Приоритет-2030» – проект № 075-15-2023-220.



в настоящее время превышает 50 миллиардов долларов США [8].

Современное ведение рыбного хозяйства невозможно без обеспечения полноценного и сбалансированного кормления объектов аквакультуры. В последние годы растет интерес к повышению производства товарной рыбы при сниженных затратах на кормление [9]. Так, в себестоимости прудовой рыбы 40-50% [10] (а некоторые авторы указывают 70% [11]) занимают затраты на кормление и корма. В связи с этим необходимо постоянно изыскивать новые способы, технологии кормления для повышения продуктивности в зависимости от разных условий содержания [10, 12].

Например, необходимо рассчитывать количество корма в зависимости от возраста и массы рыбы, температуры воды и содержания растворенного в воде кислорода и питательности корма, обеспечивать недостающими питательными веществами, экономить дорогие белковые корма при достаточно высоком темпе роста рыбы [13].

Одним из важнейших питательных веществ рационов сельскохозяйственных животных и объектов аквакультуры является белок, содержащий сбалансированный незаменимыми аминокислотами состав [5]. Известно, что от количества белка и стоимости производства корма напрямую зависят темпы роста молоди, состояние здоровья и экономическая эффективность выращивания объектов аквакультуры [14].

В настоящее время при производстве кормов для аквакультуры наблюдается недостаток белковых кормов, содержащих полноценный кормовой белок, сбалансированный по аминокислотам в соответствии с потребностями пресноводной рыбы [15].

Снижение стоимости кормов возможно за счёт частичного замещения основных и дорогих компонентов (рыбной муки и жиров) альтернативными источниками белка растительного происхождения в разном соотношении [16, 17, 18].

Сегодня не прекращается поиск новых компонентов и ферментных композиций, которые могли бы использоваться в повышении рентабельности отрасли, проведении работ по совершенствованию рецептур рыбных кормов. Благодаря вышеизложенному был проведен сравнительный химический анализ белковых кормов, которые являются перспективными для применения в составе комбикормов для аквакультуры, и определено их влияние на переваримость белка у карпа.

Материалы и методы исследований

В качестве источников белка были выбраны несколько видов кормов, такие как зерно белого люпина, белковый концентрат «Агро-Матик» (смесь белков, содержащая зерно белого люпина и мясокостную муку из птицы), рыбная мука и растительно-рыбный гидролизат (в качестве растительного компонента он содержал либо рапсовый, либо подсолненный шрот), отходы переработки карпа и лосося, соевый и подсолнечный шрот, подсолнечный жмых, шрот рапсовый нативный и ферментируемый.

Исследования питательности белковых кормов проводили на базе лаборатории кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева и лаборатории кормов РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси согласно общепринятым арбитражным методам химического анализа кормов. Из каждого вида кормов отбирали лабораторную среднюю пробу согласно основным критериям, приведенным в ГОСТ Р ИСО 6497–2011 «Корма для животных. Отбор проб».

В анализируемых кормах определяли: сухое вещество путем высушивания в сушильном шкафу при температуре 105 °С (ГОСТ 31640-2012), сырую золу – методом сухого озоления (ГОСТ 32933-2014 (ISO5984:2002)), общий азот и сырой протеин – методом Кьельдаля (ГОСТ Р 51417-99 (ISO 5983:1997)), сырой жир – при помощи аппарата Сокслета (ГОСТ Р 53153-2008), сырую клетчатку – по Геннебергу и Штоману (ГОСТ 31675-2012).

Из разных источников растительного и животного кормового материала были произведены растительно-рыбные гидролизаты. Для гидролиза использовали следующие ферментные препараты: «Протозим» (протеаза бактериальная щелочная), «Протозим С» (протеаза грибная щелочная), целлюлаза, липаза, «Амилоризин» (альфа-амилаза грибная), производства РФ и на их основе были составлены ферментные композиции.

Исходя из анализа исходного сырья была определена переваримость питательных веществ у карпа при использовании комбикормов с включением в их состав полученных гидролизатов. Изучение переваримости проводили через 7 суток после привыкания карпа к комбикорму. Для установления его переваримости через 12 часов голода рыбе дали разовую дозу, а через 5 часов после кормления на анализ взято содержимое заднего отдела кишечника рыб. Экскременты изы-

мались из всех рыб, участвовавших в опыте. Все извлеченные экскременты из одного аквариума объединялись в одну пробу. После, используя формулу (1), был рассчитан коэффициент видимой переваримости сырого протеина.

Расчет переваримости сырого протеина вели по формуле

$$K_{ВП} = \frac{P_K \cdot C_K - P_Э \cdot C_Э}{P_K \cdot C_K} \cdot 100\%,$$

где P_K и $P_Э$ – содержание питательного вещества в корме и экскрементах, %;

C_K и $C_Э$ – количество съеденного корма и выделенных экскрементов, г.

Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных проводили стандартными методами корреляционного и дисперсионного анализа по Антоновой В. С. и др. (2011) с использованием персонального компьютера и программного комплекса пакета статистического анализа Microsoft Office [19].

Рассчитывали средние значения

M и ошибки средних $\pm m$. Достоверность различий оценивали по t -критерию Стьюдента, разность считали достоверной по отношению к контрольной группе при $P < 0,05$.

Результаты исследований

Лаборатория кормов РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» в 2021-2025 годы подпрограммы «Кормопроизводство» разрабатывает научно обоснованную технологию получения растительно-рыбного гидролизата и возможность его использования в комбикормах для карповых рыб.

Для создания растительно-рыбного гидролизата был изучен химический состав отходов переработки рыбы. В качестве отходов переработки пресноводной рыбы выступали отходы переработки карпа и в качестве отходов переработки морской рыбы – отходы переработки лосося (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав белковых кормов для рыбы

Корм	Содержание, %*					
	СВ	СП	СЖ	СЗ	СК	соли
Отходы переработки карпа	18,18± 0,07	15,66± 0,30	5,21±0,29	2,50± 0,22	–	0,91± 0,05
Отходы переработки лосося	67,07± 1,01	13,10± 0,72	27,09± 0,10	1,82± 0,00	–	1,69± 0,14
БК «Агро-Матик»	93,2	58,3	10,63	8,00	2,70	–
Подсолнечный жмых	92,0	36,0	15,50	6,40	17,00	–

Примечание: * – представляют собой сухое вещество, сырой протеин, сырой жир (эфирный экстракт), сырая зола, сырая клетчатка и соль поваренная соответственно, БК – белковый концентрат.

Проведя анализ данных, представленных в таблице 1, отмечено, что отходы переработки карпа содержат в 1,2 раза больше сырого протеина, чем отходы переработки лосося, сырого жира – ниже в 5,2 раза, сырой золы – выше в 1,4 раза, а соли отходы пресноводной рыбы содержат меньше в 1,9 раза.

Уровень сырого протеина в 1,0 кг сухого вещества в соевом шроте составляет 48,35%, подсолнечном жмыхе – 36,00, а в белковом концентрате доходит до 58,30%. Отмечено, что содержание клетчатки в подсолнечном жмыхе – 17,00%, он был самым высоким, а наименьшее – 2,90% – обнаружено в белковом концентрате.

Отмечено, что для производства растительно-рыбного гидролизата подходят все виды отходов, однако отходы переработки лосося содержат большое количество жира, что будет снижать качество ферментации при производстве.

Был изучен химический состав растительно-белкового сырья, а именно – соевого и подсолнечного шротов. Данные по химическому составу шротов представлены в таблице 2.

Анализируя данные таблицы 2, можно отметить, что в соевом шроте содержание сырого протеина выше на 23%, содержание сырой клетчатки ниже на 62,3%, сырого жира – выше на 3%. Содержание легкогидролизуемых углеводов, которые легче усваиваются карпом в подсолнечном шроте, выше на 22,8% по сравнению с соевым шротом, а трудногидролизуемых углеводов выше в подсолнечном шроте по сравнению с соевым шротом на 13,6%.

Для определения технологических аспектов получения растительно-рыбного гидролизата необходимо знать некоторые физико-химические показатели (табл. 3).



Таблица 2 – Химический состав соевого и подсолнечного шротов

Шрот	Содержание, %*					
	СВ	СП	СЖ	СК	углеводов**	
					легкогидролизуемых	трудногидролизуемых
Соевый	90,82±0,18	48,86±0,82	1,91±0,15	5,24±0,28	15,20±0,00	12,00±0,00
Подсолнечный	90,11±0,27	37,63±0,76	1,85±0,10	13,90±0,20	19,70±0,60	13,89±0,28
Рапсовый	88,30	35,96	2,50	12,1	–	–
Рапсовый (Ф)	87,84	40,86	1,80	7,70	–	–

Примечание: * – представляют собой сырой протеин, сырой жир (эфирный экстракт), сырая клетчатка соответственно. ** – легко- и трудногидролизуемые. Ф – ферментированный.

Таблица 3 – Физико-химические показатели шротов

Шрот	Показатель	
	рН	кислотности, °
Соевый	8,58±0,00	11,30±0,55
Подсолнечный	8,03±0,00	5,60±0,07

Анализируя данные таблицы 3, видим, что рН водной суспензии соевого и подсолнечного шротов имеет слабощелочную реакцию. В то же время кислотность соевого шрота выше на 50% по сравнению с подсолнечным шротом, что характеризует среду как кислую и ограничивает в перспективе использование нейтральных и щелочных ферментов и микроорганизмов, чувствительных к кислым средам

при производстве растительно-рыбных гидролизатов.

Необходимо отметить, что для Республики Беларусь подсолнечный и соевый шроты являются импортным сырьем. Поэтому также были изучены отечественные рапсовый шрот и жмых, как потенциальное сырье для производства растительно-рыбного гидролизата. Данные химического состава рапсового шрота и жмыха приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав рапсового шрота и жмыха

Шрот	Содержание, %*					
	сухого вещества	протеина	жира	клетчатки	углеводов**	
					легкогидролизуемых	трудногидролизуемых
Шрот	90,03±0,50	37,56±0,21	0,46±0,01	14,59±0,25	24,87±0,30	7,43±0,30
Жмых	94,63±0,20	36,27±0,16	11,87±0,23	17,84±0,27	28,95±0,24	3,22±0,03

Примечание: * – представляют собой сырой протеин, сырой жир (эфирный экстракт), сырая клетчатка соответственно. ** – легко- и трудногидролизуемые углеводы.

Проводя анализ данных, представленных в таблице 4, необходимо отметить, что по содержанию сырого протеина рапсовый шрот превосходит рапсовый жмых несущественно, а именно – на 1,29%, в то же время жмых содержит больше клетчатки на 3,25% и сырого жира – на 11,41%. Жмых содержит больше легкогидролизуемых углеводов, а шрот – трудногидролизуемых.

Исходя из результатов химического состава кормов были составлены компози-

ции с различными соотношениями шротов и отходов переработки рыбы. В качестве отходов переработки рыбы использовали отходы переработки карпа, которые измельчали в фарш. В качестве растительного компонента гидролизата использовали подсолнечный, соевый, рапсовый шроты и рапсовый жмых. Все сырье подвергалось измельчению – гомогенизации. Состав некоторых композиций для производства растительно-рыбного гидролизата представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Состав композиций на основе соевого шрота

Наименование образца	Соотношение компонентов
Рыбные отходы / соевый шрот	1:1
	1:2
	2:1

Состав остальных композиций идентичен по соотношению компонентов как для подсолнечного, так и для рапсового шрота

и рапсового жмыха. Внешний вид композиций для производства растительно-рыбного гидролизата представлен на рисунке 1.

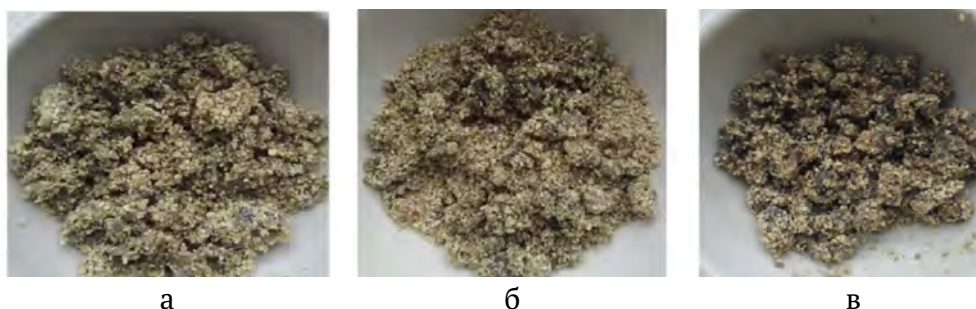


Рисунок 1 – Внешний вид композиций для производства растительно-рыбного гидролизата (рыбные отходы/соевый шрот): а – 1 : 1; б – 1 : 2; в – 2 : 1

Далее был изучен химический состав полученных композиций, а именно – определено содержание сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки и сухого вещества. Установлено, что содержание сырого протеина в композициях находится в пределах от 32,58 до 50,62 %, содержание сырого жира – от 0,36 до 9,23 %, сырой клетчатки – от 3,24 до 17,49 %.

Для гидролиза использовали следующие

ферментные препараты: «Протозим» (протеаза бактериальная щелочная), «Протозим С» (протеаза грибная щелочная), целлюлаза, липаза, «Амилоризин» (альфа-амилаза грибная) производства РФ и с ними были составлены ферментные композиции.

На рисунке 2 представлен процесс получения растительно-рыбных гидролизатов в лабораторных условиях и внешний вид сырья до и после гидролиза.

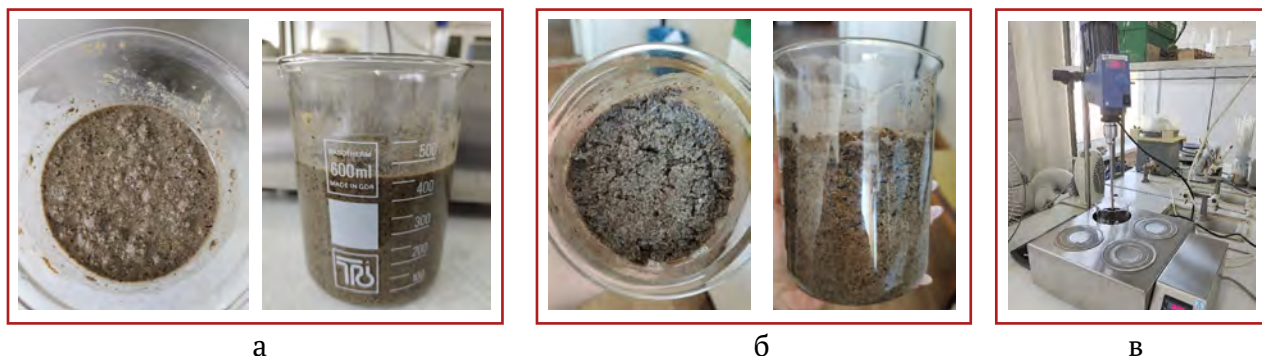


Рисунок 2 – Процесс получения растительно-рыбных гидролизатов на лабораторной установке: а – до гидролиза; б – после гидролиза; в – процесс ферментации

На рисунке 3 представлен внешний вид высушенного растительно-рыбного гидролизата с подсолнечным (1) и соевым шротом (2).

Были изучены показатели качества полученных гидролизатов, результаты представлены в таблице 6.



Рисунок 3 – Внешний вид растительно-рыбного гидролизата

Суточные нормы кормления составляли 3,0% от массы рыбы и определялись степенью потребления комбикормов. Уровень видимой переваримости сырого протеина

разных растительно-рыбных гидролизатов приведен в таблице 7.

Анализ данных показал, что лучше всего переваривается гидролизат с рапсовым жмыхом и рыбными отходами, его перевариваемость оказалась выше, чем переваримость сырого протеина рапсового шрота, которая, по данным литературы, составляет 78,0% [20].

Как показали результаты исследований, в среднем переваримость сырого протеина различных видов растительно-рыбного гидролизата оказалась на уровне 73%, что выше уровня переваримости сырого протеина всех видов шротов и жмыхов в неферментированном виде [20].

Таблица 6 – Химический состав растительно-рыбных гидролизатов

Образец	Содержание, %			
	сухого вещества	сырого протеина	сырого жира	сырой клетчатки
Растительно-рыбный гидролизат на основе подсолнечного шрота	85,49±0,11	46,27±0,02	7,01±0,01	14,49±0,1
Растительно-рыбный гидролизат на основе соевого шрота	85,61±0,10	46,21±0,05	6,98±0,01	14,21±0,2

Таблица 7 – Переваримость сырого протеина карпом

Наименование гидролиза	Сырой протеин, %		
	P_k	P_z	$K_{оп}$
Растительно-рыбный гидролизат на основе подсолнечного шрота и рыбных отходов (2:1)	38,80	18,15	65,4
Растительно-рыбный гидролизат на основе соевого шрота и рыбных отходов (2:1)	42,20	17,69	84,6
Растительно-рыбный гидролизат на основе рапсового жмыха и рыбных отходов (2:1)	43,42	19,00	92,7

Выводы

Таким образом, с целью увеличения продуктивности рекомендуется вводить в рацион молоди карпа растительно-рыбный гидро-

лизат в соотношении одной части рыбных отходов и двух частей рапсового жмыха или соевого шрота.

Список литературы

1. Основы научных исследований о животноводстве : учебное пособие. Текст : непосредственный / В. С. Антонова, Г. М. Топурия, В. И. Косилов; М-во сельского хоз-ва РФ, ФГОУ ВПО «Оренбургский гос. аграрный ун-т». Оренбург : Изд. центр ОГАУ, 2008. 217 с.
2. Ковальчук Н. Е. Зоопланктон сельскохозяйственных водоемов как компонент кормовой базы рыб. Текст : непосредственный / Н. Е. Ковальчук // Рыбохозяйственное освоение водоемов комплексного назначения: Сборник статей. М. : ВНИИР, 1990. С. 139–143.
3. Щербина М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Текст : непосредственный / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин. М. : Издательство ВНИРО, 2006. С. 300–305.
4. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб / И. Н. Остроумова. Санкт-Петербург, 2001. 372 с.



5. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 г. Текст : электронный : утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 15.12.2017 №962. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21700962>
6. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Текст : электронный : утв. Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. №20. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>
7. Flachowsky G. Land Use for Edible Protein of Animal Origin – Review. Text : direct / G. Flachowsky, U. Meyer, K.-H. Südekum // *Animals*. 2017. Vol. 7. №25. doi: <https://doi.org/10.3390/ani7030025>.
8. Khalil H. S. Effect of selenium yeast supplementation on growth performance, feed utilization, lipid profile, liver and intestine histological changes, and economic benefit in meagre, *Argyrosomus regius*. Text : direct / H. S. Khalil, A. T. Mansour, A. M. A Goda, EA. Omar // *Aquaculture*. 2019. Vol. 501. P. 135–143. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.11.018.
9. Maulu S. Fish Nutritional Value as an Approach to Children’s Nutrition. Text : direct / S. Maulu, K. Nawanzi, M. Abdel-Tawwab, H. S. Khalil // *Front. Nutr.* 2021. Vol. 8. №780844. doi: 10.3389/fnut.2021.780844.
10. Mohanty B. 2020. Contribution of Fish in Human Nutrition. Text : direct / B. Mohanty // *Research Today*. 2020. Vol. 2. Iss. 7. P. 544–546.
11. FAO. 2017. Regional review on status and trends in aquaculture development in Asia-Pacific – 2015, by Rohana Subasinghe. Text : direct FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1135/5. Rome, Italy.
12. Rabo P. D. The Role of Fisheries Resources in National Development: A Review. Text : direct / P. D. Rabo, D. U. Zarmai, B. A. Jwanya, S. H. Dikwahal // *In International Letters of Natural Sciences*. 2014. Vol. 18. P. 20–28. AOA Academic Open Access Ltd. doi: <https://doi.org/10.56431/p-8u06a5>
13. Diana J. S. Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. Text : direct / J. S. Diana // *BioScience*. 2009. Vol. 59. Iss. 1. P. 27–38. doi: <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.7>.
14. Лагуткина Л. Ю. Перспективное развитие мирового производства кормов для аквакультуры: альтернативные источники сырья. Текст : непосредственный / Л. Ю. Лагуткина // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2017. № 1. С. 67–78.
15. Alammar M. M. An intelligent approach of the fish feeding system. Text : direct / M. M. Alammar, A. Al-Ataby // *3rd International Conference on Data Mining & Knowledge Management: Conference, November 2018*. doi: 10.5121/csit.2018.81506.
16. Колмаков В. И. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных. Текст : непосредственный / В. И. Колмаков, А. А. Колмакова // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2020. Т. 13. № 4. С. 424–442.
17. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. Text : direct / N. Daniel // *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2018. Vol. 6. Iss. 2. P. 164–179.
18. Influence of protein concentrate in the diet on productivity and amino acid composition of cow milk. Text : direct / N. P. Buryakov, M. A. Buryakova, A. S. Zaikina, D. E. Aleshin, I. A. Suslova, A. E. Stavtcev // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019. P. 012057.
19. Прохоров Е. О. Эффективность использования безалкалоидного зерна белого люпина в составе комбикорма при кормлении молочного скота. Текст : непосредственный: автореф. дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.02.08: защищена 12.12.17 / Прохоров Евгений Олегович. М., 2017. 22 с.



20. Петров А. С. Эффективность использования белкового концентрата «Агро-Матик» при выращивании тилапии. Текст : непосредственный: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 06.02.08: защищена 08.07.22 / Петров Александр Сергеевич. М., 2022. 24 с.

References

1. Osnovy nauchnyh issledovaniy o zhivotnovodstve : uchebnoe posobie. Tekst : neposredstvennyj / V. S. Antonova, G. M. Topuriya, V. I. Kosilov; M-vo sel'skogo hoz-va RF, FGOU VPO «Orenburgskij gos. agrarnyj un-t». Orenburg : Izd. centr OGAU, 2008. 217 s.
2. Koval'chuk N. E. Zooplankton sel'skohozyajstvennyh vodoemov kak komponent kormovoj bazy ryb. Tekst : neposredstvennyj / N. E. Koval'chuk // Rybohozyajstvennoe osvoenie vodoemov kompleksnogo naznacheniya: Sbornik statej. M. : VNIIR, 1990. S. 139–143.
3. Shcherbina M. A. Kormlenie ryb v presnovodnoj akvakul'ture. Tekst : neposredstvennyj / M. A. Shcherbina, E. A. Gamygin. M. : Izdatel'stvo VNIRO, 2006. S. 300–305.
4. Ostroumova I. N. Biologicheskie osnovy kormleniya ryb / I. N. Ostroumova. Sankt-Peterburg, 2001. 372 s.
5. Doktrina nacional'noj prodovol'stvennoj bezopasnosti Respubliki Belarus' do 2030 g. Tekst : elektronnyj : utv. Postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus' 15.12.2017 №962. Rezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21700962>
6. Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii. Tekst : elektronnyj: utv. Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 21 yanvarya 2020 g. №20. Rezhim dostupa: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>
7. Flachowsky G. Land Use for Edible Protein of Animal Origin – Review. Text : direct / G. Flachowsky, U. Meyer, K.-H. Südekum // Animals. 2017. Vol. 7. №25. doi: <https://doi.org/10.3390/ani7030025>.
8. Khalil H. S. Effect of selenium yeast supplementation on growth performance, feed utilization, lipid profile, liver and intestine histological changes, and economic benefit in meagre, *Argyrosomus regius*. Text : direct / H. S. Khalil, A. T. Mansour, A. M. A Goda, EA. Omar // Aquaculture. 2019. Vol. 501. P. 135–143. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.11.018.
9. Maulu S. Fish Nutritional Value as an Approach to Children's Nutrition. Text : direct / S. Maulu, K. Nawanzi, M. Abdel-Tawwab, H. S. Khalil // Front. Nutr. 2021. Vol. 8. №780844. doi: 10.3389/fnut.2021.780844.
10. Mohanty B. 2020. Contribution of Fish in Human Nutrition. Text : direct / B. Mohanty // Research Today. 2020. Vol. 2. Iss. 7. P. 544–546.
11. FAO. 2017. Regional review on status and trends in aquaculture development in Asia-Pacific – 2015, by Rohana Subasinghe. Text : direct FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1135/5. Rome, Italy.
12. Rabo P. D. The Role of Fisheries Resources in National Development: A Review. Text : direct / P. D. Rabo, D. U. Zarmai, B. A. Jwanya, S. H. Dikwahal // In International Letters of Natural Sciences. 2014. Vol. 18. P. 20–28. AOA Academic Open Access Ltd. doi: <https://doi.org/10.56431/p-8u06a5>
13. Diana J. S. Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. Text : direct / J. S. Diana // BioScience. 2009. Vol. 59. Iss. 1. P. 27–38. doi: <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.7>.
14. Lagutkina L. Yu. Perspektivnoe razvitie mirovogo proizvodstva kormov dlya akvakul'tury: al'ternativnye istochniki syr'ya. Tekst : neposredstvennyj / L. Yu. Lagutkina // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo. 2017. № 1. S. 67–78.
15. Alammar M. M. An intelligent approach of the fish feeding system. Text : direct / M. M. Alammar, A. Al-Ataby // 3rd International Conference on Data Mining & Knowledge Management: Conference, November 2018. doi: 10.5121/csit.2018.81506.



16. Kolmakov V. I. Aminokisloty v perspektivnyh kormah dlya akvakul'tury ryb: obzor eksperimental'nyh dannyh. Tekst : neposredstvennyj / V. I. Kolmakov, A. A. Kolmakova // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2020. T. 13. № 4. S. 424–442.
17. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. Text : direct / N. Daniel // International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2018. Vol. 6. Iss. 2. P. 164–179.
18. Influence of protein concentrate in the diet on productivity and amino acid composition of cow milk. Text : direct / N. P. Buryakov, M. A. Buryakova, A. S. Zaikina, D. E. Aleshin, I. A. Suslova, A. E. Stavtcev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019. P. 012057.
19. Prohorov E. O. Effektivnost' ispol'zovaniya bezalkaloidnogo zerna belogo lyupina v sostave kombikorma pri kormlenii molochnogo skota. Tekst : neposredstvennyj: avtoref. dic. ... kandidata sel'skohozyajstvennyh nauk: 06.02.08: zashchishchena 12.12.17 / Prohorov Evgenij Olegovich. M., 2017. 22 s.
20. Petrov A. C. Effektivnost' ispol'zovaniya belkovogo koncentrata «Agro-Matik» pri vyrashchivanii tilyapii. Tekst : neposredstvennyj: avtoreferat dis. ... kandidata biologicheskikh nauk: 06.02.08: zashchishchena 08.07.22 / Petrov Aleksandr Sergeevich. M., 2022. 24 s.

Сведения об авторах

Жанна Викторовна Кошак – кандидат технических наук, доцент, руководитель лаборатории кормов, Республиканское унитарное предприятие «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси.

Анна Николаевна Гринько – в.н.с. лаборатории кормов, Республиканское унитарное предприятие «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси.

Дмитрий Евгеньевич Алешин – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры кормления животных, научный сотрудник лаборатории перспективных технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», научный сотрудник лаборатории перспективных технологий, ORCID : 0000-0002-4119-1451.

Николай Петрович Буряков – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой кормления животных Института зоотехнии и биологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», ORCID:0000-0002-6776-0835.

Information about the authors

Zhanna V. Koshak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Feed Laboratory, Republican Unitary Enterprise «Institute of Fisheries» of the National Academy of Sciences of Belarus.

Anna N. Grinko – V.N.S. of the Feed Laboratory, Republican Unitary Enterprise «Institute of Fisheries» of the National Academy of Sciences of Belarus.

Dmitriy E. Aleshin – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Animal Feeding, Researcher at the Laboratory of Advanced Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", ORCID : 0000-0002-4119-1451.

Nikolay P. Buryakov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Feeding at the Institute of Animal Science and Biology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", ORCID:0000-0002-6776-0835.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Кошак Ж. В., Гринько А. Н., Алешин Д. Е., Буряков Н. П., 2024

© Koshak Zh.V., Grinko A. N., Aleshin D. E., Buryakov N. P., 2024



АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья
УДК 631.358:633.5
doi:10.52025/2712-8679_2023_00_63

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВСПУШИВАНИЯ ЛЕНТЫ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА

Александр Николаевич Зинцов¹, Михаил Михайлович Билан², Владислав Сергеевич Шевченко³, Вячеслав Александрович Добрецов⁴

^{1, 2, 3, 4} Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Каравеево, Россия

¹ zintsov_a@mail.ru

² mihaik.kostiak@gmail.com

³ vasya1pro@mail.ru

⁴ Dobrsvsoligrad@mail.ru

Аннотация. Структурные параметры ленты льна, влияющие на выход длинного волокна, формируются в процессе теребления растений и ухудшаются при выполнении последующих уборочных операций. При этом современные ворошиллки лент льна при своей работе наиболее заметно понижают пригодность стеблевого слоя к переработке. Причиной тому является особенность технологического процесса ворошения, происходящего в зазоре между поверхностью поля и подбирающим рабочим органом с показателем его кинематического режима меньше единицы. Для наилучшего сохранения параметров стеблевого слоя в Костромской ГСХА разработан опытный вспушиватель лент льна ВЛ-2К, который перемещает ленту стеблей над подбирающим барабаном с показателем кинематического режима его работы, равным единице. В результате экспериментальных исследований установлено, что опытная машина ВЛ-2К в сравнении с серийной ворошиллкой ВЛ-3 допускает наименьшие повреждения всех структурных параметров стеблевого слоя, влияющих на его пригодность к переработке.

Ключевые слова: лён, длинное волокно, вспушивание, лента, слой, пригодность, растянутость, перекосы, кривизна

Для цитирования: Зинцов А. Н., Билан М. М., Шевченко В. С., Добрецов В. А. Результаты исследований процессов вспушивания ленты стеблей льна // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №2 (10). С. 63-70.

THE RESULTS OF RESEARCH ON THE PROCESSES OF FLUFFING THE FLAX STEM TAPE

Alexander N. Zintsov¹, Mikhail M. Bilan², Vladislav S. Shevchenko³, Vyacheslav A. Dobretsov⁴

^{1, 2, 3, 4} Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

¹ zintsov_a@mail.ru

² mihaik.kostiak@gmail.com

³ vasya1pro@mail.ru

⁴ Dobrsvsoligrad@mail.ru

Abstract. The structural parameters of the flax tape, which affect the yield of long fiber, are formed during the pulling of plants and deteriorate during subsequent harvesting operations. At the same time, modern flax tedders during their work most noticeably reduce the suitability of the stem layer for processing. The reason for this is the peculiarity of the technological process of tedding, which occurs in the gap between the field surface and the pick-up working body with an indicator of its kinematic mode less than one. For the best preservation of the parameters of the stem layer, the Kostroma State Agricultural Academy has developed an experimental flax tape fluffer VL-2K, which moves the stem tape over the pick-up drum with a kinematic mode indicator of its operation equal to one. As a result of experimental studies, it was found that the experimental machine VL-2K, in comparison with the serial tedder VL-3, allows the least damage to all structural parameters of the stem layer that affect its suitability for processing.

Keywords: flax, long fiber, fluffing, tape, layer, suitability, stretch, distortions, curvature

For citation: Zintsov A. N., Bilan M. M., Shevchenko V. S., Dobretsov V. A. Results of studies of the processes of fluffing of the flax stem tape // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. № 2 (10). Pp. 63-70.

Введение

Современные экономические условия развития российского агробизнеса диктуют все более жесткие требования к экологизации и снижению себестоимости производства продукции [1]. При этом в агропромышленном секторе экономики отрасль

льноводства связана с высоким уровнем финансовых вложений, величина которых более чем в три раза превышает затраты на возделывание зерновых культур [2]. Кроме того, существовавшая долгое время технология заводского приготовления тресты наносила существенный вред окружающей среде.

Поэтому в настоящее время подавляющее большинство льноводов во всем мире готовят тресту в естественных полевых условиях [3, 4], используя для этого бесплатные и экологически чистые природно-климатические ресурсы.

Однако несмотря на финансовую и экологическую привлекательность, процесс росной мацерации носит случайный характер и может протекать с различной интенсивностью, влияющей на продолжительность уборочных работ и качество волокнистой продукции. При этом главными причинами затягивания сроков уборки и снижения качества льняной тресты являются обильные осадки, низкая температура воздуха и недостаток солнечной радиации в условиях затянувшегося ненастья, высокая плотность стеблевой массы и большое количество сорняков на поверхности льнища. В отдельные годы при неблагоприятном стечении указанных обстоятельств максимально возрастает вероятность полной потери волокнистой продукции в результате активизации процессов гниения стеблевой массы в переувлажненных лентах.

Для обеспечения надежности производства волокнистой продукции различными технологиями уборки предусмотрены достаточно результативные меры, сдерживающие негативные воздействия обозначенных факторов. Научные исследования и производственный опыт показывают, что наиболее эффективным методом борьбы с переувлажнением стеблевой массы, непосредственно контактирующей с поверхностью почвы, является периодическое оборачивание или вспушивание лент стеблей [4].

Анализ этих технологических приемов показывает на более высокую эффективность оборачивания. Однако существующие технические средства для оборачивания лент льна обладают недостаточной технологической надёжностью и невысокой производительностью. Напротив, современные ворошилки и вспушители ВЛ-3, ВЛН-4,5 и др., в силу трехпоточности и простоты своей конструкции, способны за короткий промежуток времени обработать ленты тресты на больших площадях, что особенно актуально при неустойчивых погодных условиях. Поэтому вспушивание лент стеблей по сравнению с их оборачиванием является у льноводов более популярным способом подсушки готовой волокнистой продукции перед уборкой её с поля. Но при ворошении лент известными машинами происходит существенная

дезориентация стеблей в слое, заметно снижающая выход длинного волокна на льнозаводе [5, 6].

Перепутывание стеблевой массы происходит под воздействием подбирающих пальцев [7, 8, 9, с. 49–56], рабочие поверхности которых вращаются с окружными скоростями, существенно меньшими поступательной скорости движения агрегата. В течение такого контакта подбирающий барабан выполняет технологический процесс под собой с показателем кинематического режима меньше единицы, что неизбежно влечёт беспорядочные смещения различных участков стеблей в вертикальном направлении и в направлении движения агрегата. Другим недостатком серийных машин является невысокая чистота подбора – от 90% [10, с. 52].

С учётом обозначенной проблемы учёные Костромской ГСХА разработали конструкцию двухпоточного вспушителя ВЛ-2К, свободного от описанных недостатков. Опытный образец машины подбирает и перемещает ленту стеблей над подбирающим аппаратом с показателем кинематического режима его работы, равным единице [11, 12]. Второе отличие нового вспушителя состоит в принципе работы подбирающих пальцев, которые независимо друг от друга копируют неровности поля без чрезмерного заглубления с сохранением угла атаки [13]. Кроме того, после подбора и подъема ленты наклон рабочей части пальца по отношению к кожуху подбирающего барабана изменяется под действием беговой дорожки. Благодаря особой траектории своего движения пальцы свободно выходят из стеблевой массы, не создавая препятствий её расстилу.

Совокупность обозначенных отличий опытной машины ВЛ-2К позволяет сделать предположение о возможности максимального сохранения структурных параметров ленты стеблей (перекосы и растянутость стеблей, кривизна и разрывы лент), отвечающих за пригодность вспушенного слоя к последующей обработке трепанием. Однако эффективность всех технических решений существующей проблемы, реализованных в конструкции опытной машины, требует экспериментального обоснования. Поэтому в 2023 году учёные Костромской ГСХА провели пассивный эксперимент с целью количественной оценки изменений структурных параметров стеблевого слоя под воздействием рабочих органов опытного образца двух-



поточного вспушвателя ВЛ-2К и серийной машины ВЛ-3. Объектом исследований являлись процессы вспушивания лент стеблей льнотресты. Предмет исследования – структурные параметры лент стеблей льнотресты, влияющие на пригодность слоя к выделению длинного волокна.

Материал и методы исследования

С учетом цели исследований программа пассивного эксперимента включала сбор информации о перекосах α и растянутости λ стеблей, разрывах L_p и кривизне $y_k(L)$ лент, вспушенных серийной и опытной машинами. Исследования проведены в производственных условиях опытного поля Костромской ГСХА с последующей обработкой числовых рядов методами корреляционно-спектрального анализа и математической статистики [14].

Лён для опытов был вытереблен льноуборочным комбайном ЛК-4А 12-го августа в стадии жёлтой спелости растений. Далее вытеребленные ленты стеблей оставляли на льнище для вылежки в тресту и прораствания сорняками. После трёхнедельной вылежки выполняли вспушивание лент готовой тресты с применением серийной ворошилки ВЛ-3 и опытного вспушвателя ВЛ-2К (рис. 1).

Для оценки изменений структурных параметров замеряли их значения в исходной ленте (входной процесс – a) и после её ворошения (выходной процесс – b).

Перекосы стеблей $\alpha(L)$ регистрировали путём замера максимальных угловых отклонений α стеблей от их нормального расположения в ленте относительно направления движения агрегата (рис. 2).

Кривизну ленты $y_k(L)$ фиксировали в виде последовательности расстояний y_k от базовой линии до массива комлевых частей стеблей (рис. 3).

При этом значения параметров α и y_k замеряли через каждые 0,5 м на отрезках ленты длиной по 20 м. Сбор информации выполняли на десяти последовательно расположенных отрезках. Таким образом, для анализа процессов $\alpha(L)$ и $y_k(L)$ использовали по 400 значений в виде ансамбля реализаций общей длиной $L = 200$ м.

Процессы $\alpha(L)$ оценивали по основным статистическим характеристикам.

Для количественной оценки результатов корреляционно-спектрального анализа процессов $y_k(L)$ вычисляли интервалы корреля-



Рисунок 1 – Работа ворошилки ВЛ-3 и опытного вспушвателя ВЛ-2К

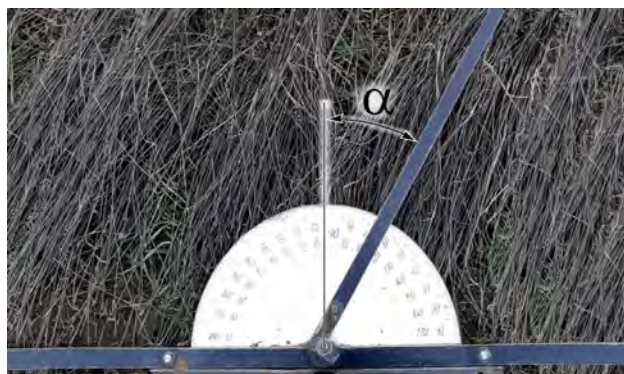


Рисунок 2 – Регистрация перекосов α стеблей



Рисунок 3 – Регистрация ординат y_k комлевой части ленты стеблей

ции l_0 , коэффициенты взаимных корреляций – $\rho_{a,b}$ и частоты среза – ω_c .

Приращение относительной растянутости стеблей во вспушенном слое определяли по формуле, %:

$$\Delta \lambda_{\text{отн}} = \left(\frac{l_b - l_a}{l_c} \right) \cdot 100,$$

где l_b, l_a – длина горсти стеблей, соответственно, из вспушенной и исходной ленты, см;

l_c – средняя длина стеблей, см.

Длину разрывов L_0 в лентах измеряли с помощью строительной рулетки.

Таблица 1 – Статистические характеристики процесса (L), градус

Марка машины	Математическое ожидание m_a	Среднее квадратическое отклонение σ_a	Коэффициент вариации V_a , %
ЛК-4А	10,13	5,72	56,5
ВЛ-3	16,12	9,41	58,4
ВЛ-2К	11,17	5,77	51,7

Однако с учетом рассеивания параметра в диапазоне $\pm \sigma_a$ отклонения стеблей в лентах от нормального положения в большинстве случаев значительно превосходят допустимые значения. При этом работа серийной машины ВЛ-3 увеличивает разносторонние перекосы стеблей в слое в среднем на шесть градусов, а опытный образец

Результаты замеров суммировали и вычисляли значение показателя L_p в процентах от общей длины реализации –

$$L_p = \frac{\sum L_0}{L} 100.$$

Результаты исследования

Результаты статистической обработки опытных данных о влиянии рабочих органов ворошилки ВЛ-3 и опытного вспушителя ВЛ-2К на перекосы стеблей в слое указывают на то (табл. 1), что во всех вариантах механизированных операций математические ожидания исследуемого параметра находятся в пределах агротехнических требований: $m_a \leq 20^\circ$.

двухпоточного вспушителя ВЛ-2К допускает наименьшие изменения исследуемого параметра.

Результаты корреляционно-спектрального анализа процессов $y_k(L)$ представлены в таблице 2. При этом установлено, что наиболее близкими по характеру протекания являются процессы a и b_2 – $\rho_{ab2}^{\text{max}} = 0$.

Таблица 2 – Результаты корреляционно-спектрального анализа

Марка машины	Интервал корреляции l_0 , м	Коэффициент взаимной корреляции $\rho_{a,b}$	Частота среза – ω_c , м-1
ЛК-4А (процесс a)	6,5	–	0,12
ВЛ-3 (процесс $b1$)	5,1	0,32	0,17
ВЛ-2К (процесс $b2$)	6,5	0,48	0,12

Быстрое исчезновение корреляционной связи между значениями случайного процесса b_1 на отрезке $l_0^{b1} = 5,1$ м свидетельствует об усилении кривизны ленты льна, обработанной серийной ворошилкой ВЛ-3.

Визуализация частотного состава процессов $y_k(L)$ показывает (рис. 4), что кривизна лент во всех вариантах характеризуется относительно узким диапазоном низких частот от 0 до $0,12 \text{ м}^{-1}$, в котором сосредоточены основные доли спектральных плотностей $S(\omega)$.

Установлено также, что работа серийной машины ВЛ-3 несколько расширяет спектр

дисперсий до частот $\omega_c = 0,17 \text{ м}^{-1}$. При этом уменьшение масштаба изображения спектральных плотностей за пределами ω_c позволило констатировать двух-трехкратное увеличение размахов кривизны ленты льна по сравнению с высокочастотными колебаниями этого параметра в исходной ленте. Вместе с тем опытный вспушитель ВЛ-2К максимально сохранил внутреннюю структуру исследуемого процесса во всем диапазоне частот.

В рейтинге структурных параметров [9], влияющих на пригодность слоя к переработке трепанием, существенные пози-

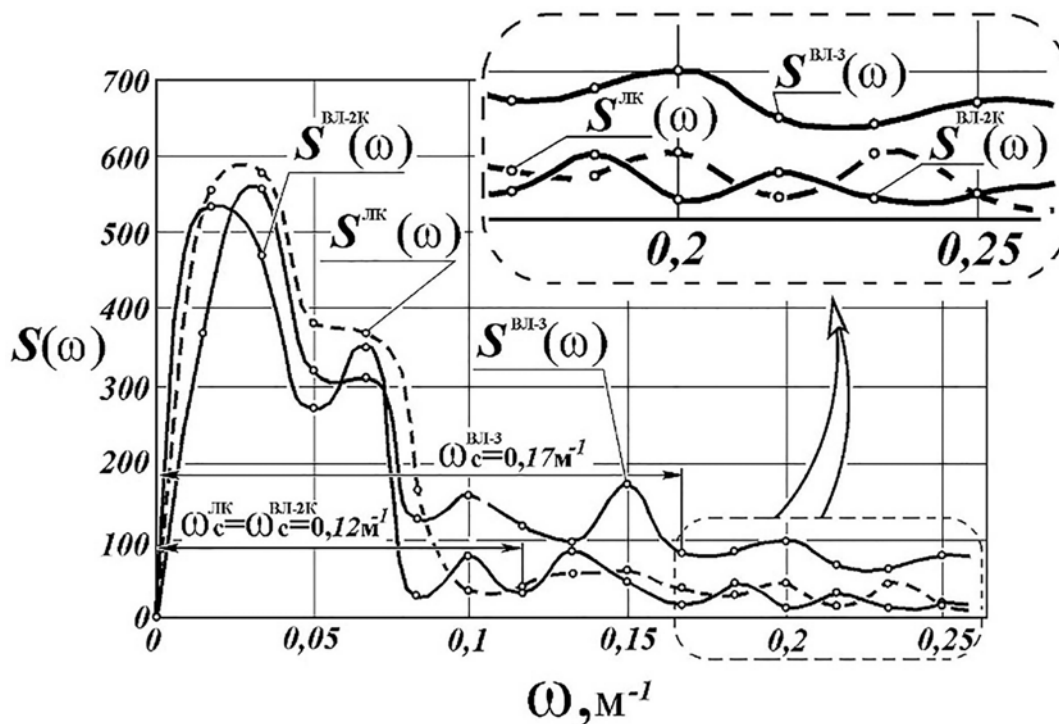


Рисунок 4 – Спектральные плотности исследуемых процессов

ции также занимают растянутость стеблей в слое и его неравномерность по толщине, которые формируются в процессе тербления растений и увеличиваются при выпол-

нения последующих уборочных операций. Приращения значений указанных параметров при ворошении лент стеблей отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Относительная растянутость стеблей и разрывы в лентах

Марка машины	Растянутость стеблей в ленте, раз			Разрывы в лентах, %		
	λ_a	λ_b	$\Delta\lambda, \%_{\text{абс}}$	L_{0a}	L_{0b}	ΔL_0
ВЛ-3	1,407	1,476	6,9	0,56	5,55	4,99
ВЛ-2К	1,381	1,389	0,8	0	0,83	0,83

Результаты исследований показали, что наиболее заметные приращения были вызваны работой ворошилки льна ВЛ-3. При работе опытного вспушивателя указанные параметры также получили изменения, но менее заметные и не существенные.

Заключение

1. Современные ворошилки лент льна при своей работе заметно ухудшают структурные параметры стеблевого слоя, отвечающие за его пригодность к переработке трепанием на льнозаводе. При этом технологический процесс вспушивания происходит в зазоре между поверхностью поля и подбирающим рабочим органом с пока-

зателем кинематического режима меньше единицы.

2. В Костромской ГСХА разработан и изготовлен опытный образец вспушивателя лент льна ВЛ-2К, который перемещает ленту стеблей над подбирающим барабаном с показателем кинематического режима его работы, равным единице, что предполагает минимальные изменения структурных параметров стеблевого слоя.

3. Результаты исследований существующего и усовершенствованного процессов вспушивания показали, что опытная машина ВЛ-2К допускает наименьшие изменения всех структурных параметров стеблевого слоя, влияющих на выход длинного волокна.



Список литературы

1. Официальный сайт компании Бизнес-прост. Текст : электронный. Режим доступа : <https://biznes-prost.ru/razvitie-agrobiznesa-v-rossii.html> (дата обращения: 30.03.2023).
2. Ростовцев Р. А., Черников В. Г., Ущাপовский И. В. Основные направления модернизации льняного агропромышленного комплекса России. Текст : электронный // Вестник аграрной науки. 2019. № 1 (76). С. 19–20. doi: <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.1.19>
3. Danny E. A. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. Text : electronic // International Scholarly Research Notices, Volume 2013 / Article ID 186534 / <https://doi.org/10.5402/2013/186534>.
4. Ростовцев Р. А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства. Текст : непосредственный / Р. А. Ростовцев, В. Г. Черников, И. В. Ущাপовский, Р. А. Попов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. №3. С. 45–52. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
5. Смирнов Н. А. Проверка новой технологии уборки и подготовки к переработке тресты в производственных условиях. Текст : непосредственный / Н. А. Смирнов, В. Н. Соколов, С. В. Смирнов, А. А. Лобачёв, М. А. Трофимов, С. С. Смирнов // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Выпуск 68. Кострома : КГСХА, 2008. С. 90–98.
6. Смирнов Н. А. Новая технология уборки льна, уборки и подготовки к переработке тресты. Текст : непосредственный / Н. А. Смирнов, В. Н. Соколов, С. В. Смирнов, А. А. Лобачёв, С. С. Смирнов // Механизация и электрификация сельского хозяйства // Межведомственный тематический сборник. Выпуск 43, том 1. Минск, 2009. С. 169–173.
7. Смирнов Н. А., Смирнов С. В. Пути повышения уровня механизации при уборке льнотресты. Текст : непосредственный / Машинно-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе // Сборник научных трудов ВНИИМЛ. Тверь : Твер. гос. ун-т, 2014. С. 80–85.
8. Смирнов Н. А. Анализ работы ворошилок лент льна. Текст : непосредственный / Н. А. Смирнов, А. Н. Зинцов, С. В. Смирнов, В. Н. Соколов // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы : науч. пособие. Тверь : Твер. гос. ун-т, 2018. С. 242–248.
9. Маянский С. Е. Развитие теории процессов и совершенствование машинной технологии подготовки льна к трепанию : дис. ... д-ра. техн. наук. Текст : непосредственный. Кострома, 2012. 444 с.
10. Колчина Л. М., Крюков И. В. Технологии и технические средства для возделывания, уборки и первичной переработки льна-долгунца : каталог-справочник. Текст : непосредственный. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 132 с.
11. Патент 2694887 РФ МПК А01D 45/06. Вспушиватель лент льна. Текст : непосредственный / Н. А. Смирнов, В. Н. Соколов, А. А. Яблоков, С. В. Смирнов, №2016150744, заявл. 22.12.2016, опубл. 18.07.2019. Бюл. №20.
12. Зинцов А. Н., Соколов В. Н. Новый процесс вспушивания лент льнотресты. Текст : непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 91–100. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-91-100.
13. Пат. РФ № 2658387 А01D 45/06. Подбирающий аппарат для стеблей сельскохозяйственных культур. Текст : непосредственный / Н. А. Смирнов, В. Н. Соколов, С. В. Смирнов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия». №2017104767; заявл. 14.02.2017; опубл. 21.06.2018. Бюл. № 18.
14. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных : учебное пособие. Текст : непосредственный / А. П. Кулаичев. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2022. 484 с. (Высшее образование: Бакалавриат). DOI 10.12737/25093. ISBN 978-5-16-012834-4. Текст : электронный. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1815604> (дата обращения: 28.04.2023). Режим доступа: по подписке.



References

1. Oficial'nyj sajt kompanii Biznes-prost. Tekst : elektronnyj. Rezhim dostupa : <https://biznes-prost.ru/razvitie-agrobiznesa-v-rossii.html> (data obrashcheniya: 30.03.2023).
2. Rostovcev R. A., Chernikov V. G., Ushchapovskij I. V. Osnovnye napravleniya modernizacii l'nyanogo agropromyshlennogo kompleksa Rossii. Tekst : elektronnyj // Vestnik agrarnoj nauki. 2019. № 1 (76). S. 19–20. doi: <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.1.19>
3. Danny E. A. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. Text : electronic // International Scholarly Research Notices, Volume 2013 / Article ID 186534 / <https://doi.org/10.5402/2013/186534>.
4. Rostovcev R. A. Osnovnye problemy nauchnogo obespecheniya l'novodstva. Tekst : neposredstvennyj / R. A. Rostovcev, V. G. Chernikov, I. V. Ushchapovskij, R. A. Popov // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2020. T. 14. №3. S. 45–52. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
5. Smirnov N. A. Proverka novej tekhnologii uborki i podgotovki k pererabotke tresty v proizvodstvennyh usloviyah. Tekst : neposredstvennyj / N. A. Smirnov, V. N. Sokolov, S. V. Smirnov, A. A. Lobachyov, M. A. Trofimov, S. S. Smirnov // Trudy Kostromskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. Vypusk 68. Kostroma : KGSKHA, 2008. S. 90–98.
6. Smirnov N. A. Novaya tekhnologiya uborki l'na, uborki i podgotovki k pererabotke tresty. Tekst : neposredstvennyj / N. A. Smirnov, V. N. Sokolov, S. V. Smirnov, A. A. Lobachyov, S. S. Smirnov // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva // Mezhvedomstvennyj tematiceskij sbornik. Vypusk 43, tom 1. Minsk, 2009. S. 169–173.
7. Smirnov N. A., Smirnov S. V. Puti povysheniya urovnya mekhanizacii pri uborke l'notresty. Tekst : neposredstvennyj / Mashinno-tekhnologicheskaya modernizaciya l'nyanogo agropromyshlennogo kompleksa na innovacionnoj osnove // Sbornik nauchnyh trudov VNIIML. Tver' : Tver. gos. un-t, 2014. S. 80–85.
8. Smirnov N. A. Analiz raboty voroshilok lent l'na. Tekst : neposredstvennyj / N. A. Smirnov, A. N. Zincov, S. V. Smirnov, V. N. Sokolov // Nauchnoe obespechenie proizvodstva pryadil'nyh kul'tur: sostoyanie, problemy i perspektivy : nauch. posobie. Tver' : Tver. gos. un-t, 2018. S. 242–248.
9. Mayanskij S. E. Razvitie teorii processov i sovershenstvovanie mashinnoj tekhnologii podgotovki l'na k trepaniyu : dis. ... d-ra. tekhn. nauk. Tekst : neposredstvennyj. Kostroma, 2012. 444 s.
10. Kolchina L. M., Kryukov I. V. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya vozdelyvaniya, uborki i pervichnoj pererabotki l'na-dolgunca : katalog-spravochnik. Tekst : neposredstvennyj. M. : FGOU «Rosinfor-magrotekh», 2003. 132 s.
11. Patent 2694887 RF MPK A01D 45/06. Vspushivatel' lent l'na. Tekst : neposredstvennyj / N. A. Smirnov, V. N. Sokolov, A. A. Yablokov, S. V. Smirnov, №2016150744, zayavl. 22.12.2016, opubl. 18.07.2019. Byul. №20.
12. Zincov A. N., Sokolov V. N. Novyj process vpushivaniya lent l'notresty. Tekst : neposredstvennyj // Traktory i sel'hoz mashiny. 2020. № 6. S. 91–100. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-91-100.
13. Pat. RF № 2658387 A01D 45/06. Podbirayushchij apparat dlya stebel sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Tekst : neposredstvennyj / N. A. Smirnov, V. N. Sokolov, S. V. Smirnov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO «Kostromskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». №2017104767; zayavl. 14.02.2017; opubl. 21.06.2018. Byul. № 18.
14. Kulaichev A. P. Metody i sredstva kompleksnogo statisticheskogo analiza dannyh : uchebnoe posobie. Tekst : neposredstvennyj / A. P. Kulaichev. 5-e izd., pererab. i dop. M. : INFRA-M, 2022. 484 s. (Vysshee obrazovanie: Bakalavriat). DOI 10.12737/25093. ISBN 978-5-16-012834-4. Tekst : elektronnyj. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1815604> (data obrashcheniya: 28.04.2023). Rezhim dostupa: po podpiske.



Сведения об авторах

Александр Николаевич Зинцов – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры тракторов и автомобилей, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Михаил Михайлович Билан – студент 2-го курса магистратуры, направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия, направленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Владислав Сергеевич Шевченко – студент 1-го курса магистратуры, направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия, направленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Вячеслав Александрович Добрецов – студент 2-го курса магистратуры, направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия, направленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the authors

Alexander N. Zintsov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Mikhail M. Bilan – 2nd year student of the master's degree, field of study 35.04.06 Agroengineering, specialization «Technologies and Means of Mechanization of Agriculture», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Vladislav S. Shevchenko – 1st year student of the master's degree, field of study 35.04.06 Agroengineering, specialization «Technologies and Means of Mechanization of Agriculture», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Vyacheslav A. Dobretsov – 2nd year student of the master's degree, field of study 35.04.06 Agroengineering, specialization «Technologies and Means of Mechanization of Agriculture», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Зинцов А. Н., Билан М. М., Шевченко В. С., Добрецов В. А., 2024

© Zintsov A. N., Bilan M. M., Shevchenko V. S., Dobretsov V. A., 2024



Научная статья

УДК 621.315

doi: 10.52025/2712-8679_2024_01_71

ОБОБЩЕННЫЕ КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СЕТИ 10 КВ С ТРЕХОБМОТОЧНЫМ ПИТАЮЩИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ И КООРДИНАТАХ ТРЕХ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Николай Александрович Климов¹, Антон Геннадьевич Тихомиров², Сергей Александрович Климов³

^{1,2,3} Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

¹ na-klimov@yandex.ru,

² az09ainanaina@gmail.com

³ ser.ksaa@rambler.ru

Аннотация. Данная статья посвящена решению задачи определения места повреждения в сети 10 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором. Для повышения надежности и безопасности электропитания необходимо разрабатывать и внедрять новые методы обнаружения и устранения повреждений. Своевременное обнаружение и устранение повреждений позволяет предотвратить возможные аварии и минимизировать их последствия. В статье представлены разработанные обобщенные критерии определения места повреждения, полученные на основании расчетов, выполненных в фазных координатах и координатах трех симметричных составляющих. В результате исследований видно, что место аварии определяется с точностью до 0,8% от длины линии, это позволит направить ресурсы на устранение конкретного повреждения в конкретном месте.

Ключевые слова: сеть 10 кВ, место повреждения, фазные координаты, три симметричные составляющие, критерии, двусторонний замер, аварийный режим, трехобмоточный питающий трансформатор

Для цитирования: Климов Н. А., Тихомиров А. Г., Климов С. А. Обобщенные критерии определения места повреждения в сети 10 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором в фазных координатах и координатах трех симметричных составляющих // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. №1 (13). С. 71-79.

GENERALIZED CRITERIA FOR DETERMINING THE LOCATION OF DAMAGE IN A 10 KV NETWORK WITH A THREE-WINDING SUPPLY TRANSFORMER IN PHASE COORDINATES AND COORDINATES OF THREE SYMMETRICAL COMPONENTS

Nikolai A. Klimov¹, Anton G. Tikhomirov², Sergey A. Klimov³

^{1,2,3} Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

¹ na-klimov@yandex.ru

² az09ainanaina@gmail.com

³ ser.ksaa@rambler.ru

Abstract. This article is devoted to solving the problem of determining the location of a fault in a 10 kV network with a three-winding supply transformer. To improve the reliability and safety of power supply, it is necessary to develop and implement new methods for detecting and eliminating faults. Timely detection and repair of damage allows you to prevent possible accidents and minimize their consequences. This article develops generalized criteria for determining the location of damage, obtained on the basis of calculations performed in phase coordinates and coordinates of three symmetrical components. As a result of the research, it is clear that the location of the accident is determined with an accuracy of 0.8% of the line length, which will allow resources to be directed to eliminate specific damage in a specific location.

Keywords: 10 kV network, fault location, phase coordinates, three symmetrical components, criteria, two-way measurement, emergency mode, three-winding power transformer

For citation: Klimov N. A., Tikhomirov A. G., Klimov S. A. Generalized criteria for determining the location of damage in a 10 kV network with a three-winding supply transformer in phase coordinates and coordinates of three symmetrical components // Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region. 2024. №1 (13). Pp. 71-79.

Введение

Качественное электроснабжение потребителей электрической энергии является немаловажным фактором развития экономики, непрерывности производствен-

ных процессов и улучшения уровня жизни населения.

Электрическая сеть – основной источник энергии для современных городов и предприятий, обеспечивая стабильное и безопас-

ное электроснабжение. Однако несмотря на все усилия по ее модернизации и улучшению, электрические сети все еще подвержены различным видам сбоев и повреждений. Такие повреждения могут привести к серьезным последствиям, включая перебои в электроснабжении, выход из строя оборудования и даже возникновение пожаров.

Важность определения повреждений в электрической сети обусловлена необходимостью обеспечения безопасной и надежной работы энергосистемы. Своевременное их обнаружение и устранение позволяет предотвратить возможные аварии и минимизировать их последствия. Кроме того, определение причин повреждений помогает разработать меры по их предотвращению в будущем.

Для организации ремонтной кампании электрических сетей необходимо знать точное место возникновения аварии, чтобы ремонтная бригада имела возможность быстро и с минимальными затратами и возможным ущербом добраться в требуемое место. Это особенно актуально в условиях стареющей инфраструктуры.

В данной статье будут рассмотрены различные виды повреждений, возникающие в электрических сетях, а также предложены критерии, позволяющие определить место возникновения аварии. Полученные резуль-

таты, являющиеся частью исследований проводимых в Костромской государственной сельскохозяйственной академии на кафедре информационных технологий в электроэнергетике, будут способствовать повышению надежности и безопасности электроснабжения [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Материал и методы исследования

Исследование проводилось с использованием метода фазных координат и координат трех симметричных составляющих. Ранее проведенные расчеты позволили получить критерии определения места повреждения (ОМП) для сети 10 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором для различных режимов. Рассчитывались фазные напряжения и токи в начале линии 10 кВ и в конце этой линии. Анализ полученных значений позволил разработать критерии ОМП. Увеличивающиеся напряжения и токи помещались в числитель формулы критерия, уменьшающиеся – в знаменатель, если напряжения и токи не изменялись, то они не учитывались при разработке критерия. Исследования проводились при металлическом замыкании. Длина линии 10 кВ – 20 км.

Расчетная модель сети представлена на рисунке.

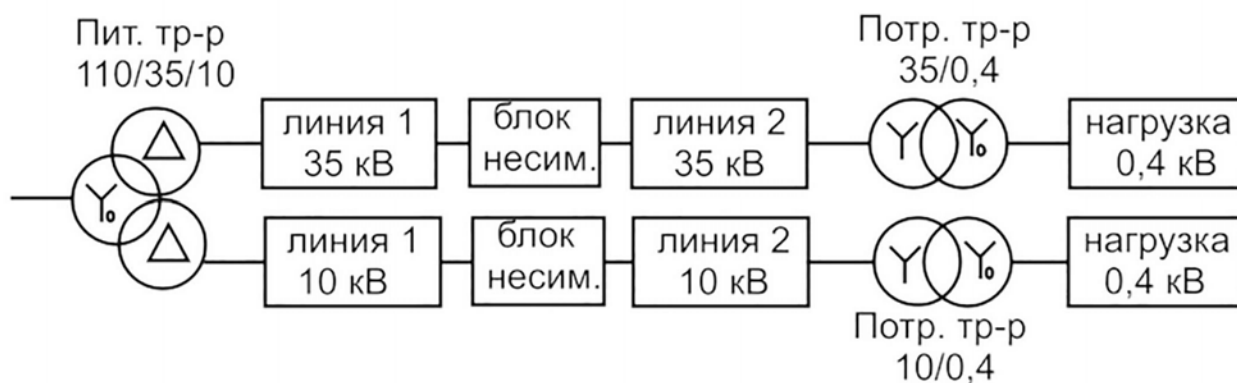


Рисунок – Расчетная модель сети

Результаты исследования

В таблице 1 представлены формулы критериев ОМП при использовании метода фазных координат при расчете напряжений и токов в начале линии 10 кВ.

Аналогичные формулы критериев были получены при измерении в конце линии 10 кВ.

Подобные критерии разработаны при использовании координат трех симметричных составляющих.

В представленные формулы были подставлены напряжения и токи, таким образом получены численные значения критериев.

В целях развития предлагаемой методики предложено перемножить соответству-



Таблица 1 – Критерии определения места повреждения в фазных координатах при расчете напряжений и токов в начале линии 10 кВ

Вид АР	Критерии определения места повреждения		
	фаза А	фаза В	фаза С
Однофазное замыкание на землю	$K_{A-земля} = \frac{U_a}{U_b \cdot U_c}$	$K_{B-земля} = \frac{U_b}{U_a \cdot U_c}$	$K_{C-земля} = \frac{U_c}{U_a \cdot U_b}$
Двухфазные короткие замыкания	$K_{AB} = \frac{U_a \cdot U_b}{I_a \cdot I_b}$	$K_{BC} = \frac{U_b \cdot U_c}{I_b \cdot I_c}$	$K_{AC} = \frac{U_a \cdot U_c}{I_a \cdot I_c}$
Трехфазное короткое замыкание	$K_{ABC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$	$K_{ABC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$	$K_{ABC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_a \cdot I_b \cdot I_c}$
Двойные замыкания на землю	$K_{A-земля+B-земля} = \frac{U_a \cdot U_b}{U_c \cdot I_a \cdot I_c}$	$K_{B-земля+C-земля} = \frac{U_b \cdot U_c}{U_a \cdot I_b \cdot I_c}$	$K_{A-земля+C-земля} = \frac{U_a \cdot U_c}{U_b \cdot I_a \cdot I_c}$
Обрывы фаз	$K_{обрA} = \frac{U_b \cdot U_c \cdot I_a}{U_a}$	$K_{обрB} = \frac{U_a \cdot U_c \cdot I_b}{U_b}$	$K_{обрC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot I_c}{U_c}$
Одновременные замыкания на землю с обрывами после	$K_{A-земля+обрA} = \frac{U_a}{U_b \cdot U_c}$	$K_{B-земля+обрB} = U_b \cdot I_b$	$K_{C-земля+обрC} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot U_c}{I_c}$
Одновременные обрывы с замыканиями на землю после	$K_{обрA+A-земля} = \frac{U_a \cdot U_b \cdot I_a}{U_c}$	$K_{обрB+B-земля} = \frac{U_b \cdot U_c \cdot I_b}{U_a}$	$K_{обрC+C-земля} = \frac{U_b \cdot I_c}{U_a \cdot U_c}$

ющие значения критериев в фазных координатах на значения в координатах трех симметричных составляющих – получены обобщенные критерии. Эти исследования необходимы для предотвращения аварий и обеспечения должного уровня надежности электроснабжения.

Численные значения представлены в таблицах 2-3.

Для нахождения значений критерия в любой точке линии необходимо использовать интерполирующий полином.

Результаты расчетов приведены в таблицах 4-5, где показаны коэффициенты интерполирующего полинома (Z1-Z5), начало и конец интервала возникновения повреждения (X1, X2), интервал возникновения ава-

рии (DL, км) и отношение его к длине линии (DL/20, %).

Из таблиц 4-5 видно, что место повреждения определяется с точностью до 0,8 % от длины линии (за исключением некоторых режимов при измерении в конце линии, так как не удалось разработать критерии из-за неизменяемости напряжений и токов), что является очень высокой точностью, так как современные приборы определяют в сетях с изолированной нейтралью повреждения не для всех режимов или с точностью, не превышающей 10%.

Необходимо отметить, что полученная погрешность является теоретической, расчетной, реальная будет зависеть от некоторых других факторов, например, точности измерительных трансформаторов.



Таблица 2 – Численные значения обобщенного критерия определения места повреждения при использовании фазных координат и координат трех симметричных составляющих при измерении в начале линии

Вид повреждения	Место повреждения				
	0	5	10	15	20
А + земля	0,000000000069	0,0000004197	0,0000009151	0,0000014997	0,0000021902
В + земля	0,000000000075	0,000000385	0,000000834	0,000001355	0,000001960
С + земля	0,000000000069	0,000000377	0,000000812	0,000001313	0,000001890
А + В	0,1	11	159	959	3703
А + С	1	60	254	4863	18269
В + С	0,104	7	107	661	2661
АВС	0,0000000056	3	65	377	1318
Аземля + Вземля	0,0000035	0,011	0,124	0,587	1,906
Аземля + Сземля	0,0000002	0,0013	0,0224	0,1437	0,5860
Вземля + Сземля	0,0000002	0,00096	0,01577	0,09834	0,39057
Обрыв А	9	175	607	2247	8471
Обрыв В	9	177	551	1610	8459
Обрыв С	9	173	597	2244	9838
Аземля + обрыв А	0,0000000001	0,0000000272	0,0000000546	0,0000000822	0,0000001101
Вземля + обрыв В	0,4	9,0	18,8	29,9	42,4
Сземля + обрыв С	74162079	23097041737	47100995270	71994238163	97977228260
Обрыв А + Аземля	256	3609	7342	11154	15018
Обрыв В + Вземля	269	3975	3976	11966	15970
Обрыв С + Сземля	0,0000003	0,0000041	0,0000082	0,0000124	0,0000166

Таблица 3 – Численные значения обобщенного критерия определения места повреждения при использовании фазных координат и координат трех симметричных составляющих при измерении в начале линии

Вид повреждения	Место повреждения				
	0	5	10	15	20
А + земля	0,000000000015	0,000000000022	0,000000000036	0,000000000078	0,0000000576
В + земля	0,000000000016	0,000000000023	0,000000000038	0,000000000083	0,0000000509
С + земля	0,000000000017	0,000000000024	0,000000000039	0,000000000084	0,0000000544
А + В	253081	287691	325601	357279	375715
А + С					
В + С	0,0000037	0,0000042	0,0000048	0,0000054	0,0000061
АВС	0,0000000003	0,00040	0,00160	0,00108	0,00066
Аземля + Вземля	0,000000001	0,000000002	0,000000004	0,000000019	0,000000126
Аземля + Сземля	0,0000000021	0,0000000036	0,0000000085	0,0000000405	0,000000204
Вземля + Сземля	0,0000000002	0,0000000004	0,0000000011	0,0000000058	0,0000000293
Обрыв А	29396527395	483923088843	2057553267844	7192821924211	38049646774313
Обрыв В	10597113939	45393280742	113424099331	229876605122	10597113939
Обрыв С	1118742479	14961437561	64017606112	165116321567	259557027524
Аземля + обрыв А	0,000000000004	0,000000000005	0,000000000008	0,000000000015	0,000000000117
Вземля + обрыв В	0,46	0,61	0,91	1,79	11,75
Сземля + обрыв С	3266775512	4388729424	6643256363	13280539248	92242344733
Обрыв А + Аземля					
Обрыв В + Вземля					
Обрыв С + Сземля					



Таблица 4 – Параметры полинома и точность определения места повреждения при использовании обобщенного критерия при изменениях в начале линии 10 кВ

Вид АНР	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	X1	X2	DL, км	DL/20 %
А + земля	0,00000000000022	0,0000000000011	0,00000001307	0,000000077080	0,0000000000069	10,02	9,98	0,03	0,17
В + земля	0,00000000000027	0,0000000000002	0,00000001198	0,0000000709	0,0000000000075	10,02	9,98	0,04	0,175
С + земля	0,00000000000014	0,0000000000006	0,00000001041	0,00000007	0,0000000000069	10,02	9,98	0,04	0,175
А + В	0,052	0,87	6,69	16,06	0,1	10,01	10,00	0,01	0,04916
А + С	0,007	5,5	81,03	278,53	1	10,00	10,00	0,003	0,015
В + С	0,042	0,78	6,21	15,45	0,1	10,01	10,00	0,01	0,04994
АВС	0,013	0,12	0,81	1,97	0,0000000056	10,01	10,00	0,009	0,046595
Аземля + Вземля	0,0000172	0,00019	0,00181	0,004	0,00000035	10,01	9,99	0,011	0,055
Аземля + Сземля	0,0000094	0,00017	0,00136	0,003	0,0000002	10,01	10,00	0,01	0,04859
Вземля + Сземля	0,0000059	0,00010	0,00081	0,002	0,0000002	10,01	10,00	0,01	0,048715
Обрыв А	0,162	3,61	31,10	-52,30	9	10,01	9,99	0,02	0,09
Обрыв В	0,308	8,61	79,35	-186,37	9	10,02	9,98	0,04	0,22
Обрыв С	0,251	6,24	54,89	-117,05	9	10,01	9,99	0,02	0,105
Аземля + обрыв А	0,00000000000013	0,0000000000001	0,0000000000012	0,00000005573	0,0000000000001	10,02	9,98	0,04	0,2
Вземля + обрыв В	0	0,000133	0,022	1,61	0,4	10,02	9,98	0,04	0,18
Сземля + обрыв С	19480	706900	26810000	4486000000	74160000	10,02	9,98	0,04	0,195
Обрыв А + Аземля	0,02	-0,95	18,64	598,83	256	10,02	9,98	0,04	0,195
Обрыв В + Вземля	-1,58	62,93	741,91	3075	269	10,01	9,99	0,02	0,1
Обрыв С + Сземля	0,00000000000067	0,00000000005	0,00000001	0,00000071	0,0000003	10,02	9,98	0,04	0,195



Таблица 5 – Параметры полинома и точность определения места повреждения при использовании обобщенного критерия при изменении в конце линии 10 кВ

Вид АНР	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	X1	X2	DL, км	DL/20%
A + земля	0,00000000000384	0,0000000000115	0,000000001056	0,00000000029	0,00000000000015	10	10	0	0,00007505
B + земля	0,000000000000339	0,0000000000102	0,0000000000933	0,00000000025	0,00000000000016	10	10	0	0,00008965
C + земля	0,000000000000363	0,0000000000109	0,0000000000997	-0,00000000027	0,00000000000017	10	10	0	0,0000861
A + B	0,168	17,75	302,88	5850	255100	10,09	9,91	0,18	0,9
A + C									0
B + C	0,0000000000013	0,0000000000533	0,00000000767	0,0000000073	0,00000037	10,08	9,92	0,16	0,8
ABC	0,0000002893	0,00001204	0,000146	0,000385	0,00000000003	10,04	9,96	0,08	0,4
Аземля + Вземля	0,0000000000045	0,00000000012	0,00000000101	0,00000000245	0,000000001	10,04	9,96	0,087	0,435
Аземля + Сземля	0,0000000000054	0,00000000013	0,000000001073	0,000000002495	0,00000000021	10,01	9,99	0,02	0,11
Вземля + Сземля	0,0000000000008	0,000000000018	0,000000000147	0,000000000342	0,000000000002	10,01	9,99	0,02	0,095
Обрыв А									0
Обрыв В	26620000	818900000	6960000000	24620000000	10600000000	10,01	9,99	0,02	0,09
Обрыв С	5035000	173500000	1017000000	4146000000	11190000000	10,01	9,99	0,02	0,08
Аземля + обрыв А	0	0,000000000000175	0,000000000000163	0,00000000000043	0,00000000000004	9,97	10,03	0,06	0,29
Вземля + обрыв В	0,0005380	0,016	0,14	0,36	0,46	9,94	10,06	0,12	0,59
Сземля + обрыв С	4313000	125000000	1144000000	29070000000	32670000000	9,96	10,05	0,09	0,445
обрыв А + Аземля									
обрыв В + Вземля									
обрыв С + Сземля									



Заключение

В данной статье была рассмотрена важность определения места повреждений в электрической сети. Были исследованы различные виды режимов и предложены обобщенные критерии определения места повреждения, полученные на основании расчетов в фазных координатах и координатах трех симметричных составляющих.

Приведенные расчеты показывают, что предлагаемые критерии определения места повреждения в сети 10 кВ с трехобмоточ-

ным питающим трансформатором позволяют обнаружить место аварии с высокой точностью.

Для улучшения надежности и качества электроснабжения требуется постоянное совершенствование методики определения места повреждения, что особенно актуально для распределительных сетей. Кроме этого, немаловажным фактором является постоянный осмотр электрической сети с целью выявления неисправных элементов.

Список литературы

1. Солдатов В. А. Использование фазных координат для разработки критериев определения места повреждения в сельских электрических сетях 35-10-6 кВ. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, Н. А. Климов, А. С. Яблоков // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2022. Т. 65. № 3. С. 80–87. DOI 10.17213/0136-3360-2022-3-80-87. EDN FGBPRR.
2. Солдатов В. А. Определение вида и места аварийного несимметричного режима фидера 35 кВ с питающим трехобмоточным трансформатором. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, Н. А. Климов // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Саратов, 01–30 апреля 2013 года ; под редакцией А. В. Павлова. Саратов : ООО ПКФ «Буква», 2013. С. 303–308. EDN SCMDKJ.
3. Солдатов В. А. Определение места повреждения в электрических сетях 35-10-6 кВ по эмпирическим критериям в координатах трех симметричных составляющих. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, Н. А. Климов, А. С. Яблоков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2022. Т. 22. № 3. С. 32–38. DOI 10.14529/power220304. EDN GQQFAJ.
4. Солдатов В. А. Определение места аварийного режима в электрических сетях 35 кВ по наведенным напряжениям. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, А. С. Яблоков // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53. № 4. С. 192–197. EDN XDYYLJ.
5. Солдатов В. А. Определение однофазных замыканий на землю в линиях 35 кВ. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, А. С. Яблоков // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе : сборник статей 67-й международной научно-практической конференции : в 3-х томах, Караваево, 21–22 января 2016 года. Т. 2. Караваево : Костромская ГСХА, 2016. С. 152–154. EDN VZDFZP.
6. Солдатов В. А. Определение места повреждения в электрических сетях 10 кВ при двухстороннем замере. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, С. Г. Лебедев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 3(52). С. 21–27. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-3-21-27. EDN IFYLHQ.
7. Soldatov V. Determining the location of damage in electrical networks 35-10-6 kV by an analytical method based on matrix equations of the 3rd degree with respect to voltages. Text : direct / V. Soldatov, N. Klimov, A. Yablokov // E3S Web of Conferences : VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023), Uzbekistan, Tajikistan, Russia, 14–16 июня 2023 года. Vol. 411. Uzbekistan, Tajikistan, Russia: E3S Web of Conferences, 2023. P. 01003. DOI 10.1051/e3sconf/202341101003. EDN HBRUPA.
8. Солдатов В. А. Критерии определения вида аварийного режима в фидере 35 кВ. Текст : непосредственный / В. А. Солдатов, Н. А. Климов // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии / Ответственный за выпуск: Филончиков А. В. Т. Вып. 76. Кострома : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. С. 177–189. EDN TNPALB.

9. Климов Н. А. Влияние параметров трансформаторов на аварийные режимы фидера 35 кВ с трехобмоточным питающим трансформатором. Текст : непосредственный / Н. А. Климов, В. А. Солдатов, Е. Л. Постнов // Актуальные проблемы энергетики АПК : VI Международная научно-практическая конференция, Саратов, 18–30 апреля 2015 года ; под общей редакцией Трушкина В.А. Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2015. С. 91–93. EDN UEEHXV.

References

1. Soldatov V. A. Ispol'zovanie faznyh koordinat dlya razrabotki kriteriev opredeleniya mesta povrezhdeniya v sel'skih elektricheskikh setyakh 35-10-6 kV. Tekst : neposredstvennyj / V. A. Soldatov, N. A. Klimov, A. S. Yablokov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Elektromekhanika. 2022. T. 65. № 3. S. 80–87. DOI 10.17213/0136-3360-2022-3-80-87. EDN FGBPRR.
2. Soldatov V. A. Opredelenie vida i mesta avariynogo nesimmetrichnogo rezhima fidera 35 kV s pitayushchim trekhobmotochnym transformatorom. Tekst : neposredstvennyj / V. A. Soldatov, N. A. Klimov // Aktual'nye problemy energetiki APK: Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, Saratov, 01–30 aprelya 2013 goda ; pod redakciej A. V. Pavlova. Saratov : ООО PKF «Bukva», 2013. S. 303–308. EDN SCMDKJ.
3. Soldatov V. A. Opredelenie mesta povrezhdeniya v elektricheskikh setyakh 35-10-6 kV po empiricheskim kriteriyam v koordinatah trekh simmetrichnyh sostavlyayushchih. Tekst : neposredstvennyj / V. A. Soldatov, N. A. Klimov, A. S. Yablokov // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. 2022. T. 22. № 3. S. 32–38. DOI 10.14529/power220304. EDN GQQFAJ.
4. Soldatov V. A. Opredelenie mesta avariynogo rezhima v elektricheskikh setyakh 35 kV po nave-dennym napryazheniyam. Tekst : neposredstvennyj / V. A. Soldatov, A. S. Yablokov // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. T. 53. № 4. S. 192–197. EDN XDYYLJ.
5. Soldatov V. A. Opredelenie odnofaznyh замыканий на землю в линиях 35 кВ. Текст : непосредстvennyj / V. A. Soldatov, A. S. Yablokov // Aktual'nye problemy nauki v agropromyshlennom komplekse : sbornik statej 67-j mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii : v 3-h tomah, Karavaevo, 21–22 yanvarya 2016 goda. T. 2. Karavaevo : Kostromskaya GSKHA, 2016. S. 152–154. EDN VZDFZP.
6. Soldatov V. A. Opredelenie mesta povrezhdeniya v elektricheskikh setyakh 10 kV pri dvuhstoronnem zamere. Tekst : neposredstvennyj / V. A. Soldatov, S. G. Lebedev // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2023. T. 70. № 3(52). S. 21–27. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-3-21-27. EDN IFYLHQ.
7. Soldatov V. Determining the location of damage in electrical networks 35-10-6 kV by an analytical method based on matrix equations of the 3rd degree with respect to voltages. Text : direct / V. Soldatov, N. Klimov, A. Yablokov // E3S Web of Conferences : VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023), Uzbekistan, Tajikistan, Russia, 14–16 iyunya 2023 goda. Vol. 411. Uzbekistan, Tajikistan, Russia: E3S Web of Conferences, 2023. P. 01003. DOI 10.1051/e3sconf/202341101003. EDN HBRUPA.
8. Soldatov V. A. Kriterii opredeleniya vida avariynogo rezhima v fidere 35 kV. Tekst : neposredstvennyj / V. A. Soldatov, N. A. Klimov // Trudy Kostromskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii / Otvetstvennyj za vypusk: Filonchikov A. V. T. Vyp. 76. Kostroma : Kostromskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2012. S. 177–189. EDN TNPALB.
9. Klimov N. A. Vliyanie parametrov transformatorov na avariynye rezhimy fidera 35 kV s trekhobmotochnym pitayushchim transformatorom. Tekst : neposredstvennyj / N. A. Klimov, V. A. Soldatov, E. L. Postnov // Aktual'nye problemy energetiki APK : VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, Saratov, 18–30 aprelya 2015 goda ; pod obshchej redakciej Trushkina V.A. Saratov : ООО «Centr social'nyh agroinnovacij SGAU», 2015. P. 91–93. EDN UEEHXV.



Сведения об авторах

Николай Александрович Климов – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ORCID: 0000-0002-3488-6706.

Антон Геннадьевич Тихомиров – студент 2-го курса уровня магистратуры, направление 35.04.06 Агроинженерия, направленность «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Сергей Александрович Климов – старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the authors

Nikolai A. Klimov – Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy», ORCID: 0000-0002-3488-6706.

Anton G. Tikhomirov – 2nd year student of the master's degree level, direction 35.04.06 Agroengineering, orientation «Electrical technologies and electrical equipment in agriculture», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Sergey A. Klimov – Senior Lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kostroma State Agricultural Academy».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict interest.

© Климов Н. А., Тихомиров А. Г., Климов С. А., 2024

© Klimov N. A., Tikhomirov A. G., Klimov S. A., 2024

Гл. редактор – М. С. Волхонов
Editor-in-chief – M. S. Volkhonov

Редактор – Н. В. Киселева
Editor – N. V. Kiseleva

Корректор – Т. В. Кулинич
Proofreader – T. V. Kulinich

Компьютерная верстка А. В. Вилашкин
Computer layout – A. V. Vilashkin

Отпечатано в типографии Костромской ГСХА по адресу:
Россия, 156530, Костромская область, Костромской район, пос. Каравеево, Учебный городок, д. 34

Printed in the printing house of the Kostroma State Agricultural Academy at the address:
Russia, Kostroma region, Kostroma district, Karavaevo, Training Campus, 34, 156530

Подписано в печать 25.03.2024. Заказ № 838.
Signed for printing on 25.03.2024. Order № 838.

Дата выхода в свет 25.03.2024.

Coming out 25.03.2024.

Тираж – 100 экз.

Circulation – 100 copies.

Цена свободная.

The price is free.

