АГРОЭКОИНЖЕНЕРИЯ 4(113)

Прежнее название –ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МЕХАНИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА И ЖИВОТНОВОДСТВА

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-78977 от 14.08.2020

В номере:

- ✓ Рассмотрены подходы по оценке и управлению экологической безопасности агросистем;
- ✓ Приведены результаты исследований эколого-биологической оценки кормовых культур и прогнозирования урожайности семян трав;
- ✓ Рассмотрены способы борьбы с борщевиком Сосновского;
- ✓ Представлен анализ реализации программы GEFF-Таджикистан по обеспечению растениеводства страны техническими средствами;
- ✓ Показаны результаты исследований установки для обработки семенного картофеля биологическими средствами защиты;
- ✓ Приведены результаты исследований технологических процессов в животноводстве и концетраций климатически активных газов при содержании животных.

Главный редактор:
Брюханов А.Ю.чл.-кор. РАН, д-р. техн. наук

Зам.главного редактора:
Максимов Д.А., канд. техн. наук;

Редакционная коллегия:
Попов В.Д., акад. РАН; д-р техн. наук;
Вторый В.Ф. д-р техн. наук;
Ракутько С.А.д-р техн.наук;
Джабборов Н.И. д-р техн. наук;
Трифанов А.В. канд. техн. наук,
Гордеев В.В. канд. техн. наук;
Перекопский А.Н., канд. техн. наук;
Каледин Г.В. канд.техн. наук;
Папушин Э.А. канд. техн. наук
Васильев Э.В. канд. техн. наук;
Миронов В.Н. канд.техн. наук.
Смелик В.А., д-р техн.наук;
Захаров А.М., канд.техн.наук
Иностранные члены редакционной коллегии:
Валкама(Костина) Елена,Финляндия
Корнел Салаи, Венгрия
Андрес Аннук, Эстония

Над номером работали:
Плеханова Ю.В. редактор;
Левченко Л.В. перевод;
Научные редакторы номера:
Джабборов Н.И., Максимов Д.А.

Учредитель и издатель:
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства-филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ"

Адрес редакции:
196625, Санкт-Петербург, Тярлево
Фильтровское шоссе, 3.
Телефон (812) 466-83-08
E-mail: nii@sznii.ru

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
Полные тексты статей размещены на сайтах электронных библиотек: elibrary.ru; КиберЛенинка; ЭБС «Лань».

Отпечатано в ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Подписано в печать 27.12.2022
Формат 84×108 $^{1}/_{16}$.
Объем 15,54 усл.печ.л.
Тираж 300 экз

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ АГРОСИСТЕМ……..…….4

Брюханов А.Ю., Попов В.Д., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем……...……4

Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е., Мурзаев Е.А. Биоиндикационная оценка состояния агроэкосистемы свекольного поля в органическом севообороте с использованием мультиспектральной съемки……18

Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Алгоритм оценки экологической ситуации территории на макроуровне……....36

Абдушаева Я.М. Эколого-биологическая оценка люцерны серповидной *(MEDICAGO FALCATA L)* в естественных сообществах Новгородской области….50

Малышева Н.Ю., Нагиев Т.Б., Ковалева Н.В. Сравнительная оценка образцов овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.) коллекции ВИР в Ленинградской области……..58

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА……....69

Джабборов П.Н., Ахмадзода Б.Р., Хомидов Ш.С. Оценка реализации инвестиционной программы GEFF-Таджикистан и её роль в обеспечении растениеводства современными техническими средствами ……69

Шамонин В.И., Чугунов С.В., Захаров А.М. Рациональные параметры и режимы работы установки для обработки семенного картофеля биологическими средствами защиты….....80

Чугунов С.В., Джабборов Н.И., Перекопский А.Н., Добринов А.В. Прогнозирование урожайности семян многолетних трав в органическом севообороте…….…93

Семчук Н.Н., Балун О.В., Гладких С.Н., Перекопский А.Н. Экологические способы борьбы с инвазионным видом борщевик Сосновского……..104

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА……...……..……114

Вторый В.Ф., Вторый С.В., Базыкин В.И. Результаты исследований концентраций климатически активных газов в коровнике с беспривязным содержанием……..…….……114

Вторый В.Ф., Вторый С.В. Определение параметров процесса приготовления жидкого заменителя цельного молока в смесителе……...……...…121

Плаксин И.Е., Трифанов А.В., Сошнев Д.А. Система управления процессом кормления в технологическом модуле для откорма цыплят-бройлеров……..128

Трифанов А.В., Плаксин И.Е., Базыкин В.И., Соколов А.М. Определение концентрации аммиака и углекислого газа в технологическом модуле выращивания кроликов в летний период……139

ЭКОЛОГИЯ АГРОСИСТЕМ

УДК 631.95 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АГРОЭКОСИСТЕМ

А.Ю. Брюханов, д-р техн. наук, чл.-корр. РАН;
В.Д. Попов, д-р техн. наук, академик РАН;
Э.В. Васильев, канд. техн наук;
Э.А. Папушин, канд. техн наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Использование интенсивных технологий в сельском хозяйстве приводит к значительным экологическим рискам, вызванным большими объемами органических отходов от крупных животноводческих и птицеводческих предприятий, несоблюдением технологий переработки навоза и помета и использования органических удобрений, деградацией почв, выделением в атмосферу парниковых газов и загрязнением водных бассейнов. Целью разработки концепции управления экологической безопасностью агроэкосистем является обоснование системы теоретических взглядов, объединенных научной идеей и задачами исследований, с указанием направлений их реализации. Согласно разработанной концепции, для снижения техногенного воздействия и обеспечения экологической устойчивости агроэкосистем необходимо формировать эффективную систему управления в сельскохозяйственном производстве, основаннуюна научно обоснованных законодательных актах и нормативах, экологически безопасных, ресурсосберегающих технологиях и технических средствах, методах экологической оценки агроэкосистем, эффективных приемах переработки и использования навоза и помета, в том числе с производством органической продукции и снижением выделения парниковых газов, а также на эффективном использовании энергетических, водных и других ресурсов. Создание системы управления экологической безопасностью агроэкосистем, базируется на разрабатываемой интеллектуальной программно-аналитической платформе (ИАПП), которая позволит эффективно решать задачи мониторинга, оценки, прогнозирования, принятия решений и проактивного управления для обеспечения долгосрочной экологической устойчивости агроэкосистем.

Ключевые слова: агроэкосистема, экологическая безопасность, мониторинг, система управления, концепция, органическая продукция, рециклинг отходов.

Для цитирования: Брюханов А.Ю., Попов В.Д., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С.4-18

MANAGEMENT CONCEPT OF ECOLOGICAL SAFETY OF AGRO-ECOSYSTEMS

A.Yu. Briukhanov, DSc (Engineering), Corresponding Member of RAS;
V.D. Popov, DSc (Engineering), Full Member of RAS;
E.V. Vasilev, Cand. Sc. (Engineering);
E. A. Papushin, Cand.Sc (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The intensive technologies in agriculture result in significant environmental risks. They originate, first, from considerable waste from large-scale livestock and poultry farms. These risks increase with the incompliance of livestock and poultry manure processing and field application of organic fertilisers with valid norms and regulations. They manifest in the soil degradation, greenhouse gas air emissions and water pollution. The research aimed to elaborate the management concept of ecological safety of agroecosystems. In other words, to substantiate a system of theoretical views with a common scientific idea and research aim specifying their implementation ways. The elaborated concept identifies the measures to mitigate the man-made impact and to ensure the environmental sustainability of agroecosystems. They are an effective management system in agricultural production, based on scientifically grounded legislation and regulations; environmentally friendly and resource-saving technologies, machines and equipment; methods of environmental assessment of agroecosystems; effective practices of processing and use of manure, including organic foods production and lower greenhouse gas emission; and an efficient use of energy, water and other resources. This management system is created on the intelligent software and analytical platform. It is designed to effectively address the tasks of monitoring, evaluation, forecasting, decision-making and proactive management to ensure the long-term environmental sustainability of agro-ecosystems.

Key words: agroecosystem, environmental safety, monitoring, management system, concept, organic products, waste recycling.

For citation: Briukhanov A.Yu., Popov V.D., Vasilev E. V., Papushin E.A. Management concept of ecological safety of agro-ecosystems. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 4-18. (In Russian)

Введение

Около 12 тыс. лет назад человеческое сообщество начало переходить от собирательства, охоты к окультуриванию, выращиванию растений и домашнему скотоводству, то есть к созданию искусственных агроэкосистем и их управлению через воздействие на окружающую среду такими технологическими приемами как рыхление почвы и орошение, к подбору наиболее продуктивных и устойчивых видов растений и др. Уже в тот период проявились первые негативные последствия вмешательства человека в окружающую среду [1].

Сельское хозяйство на современном этапе является сложной организационной технической агроэкосистемой обеспечивающее интенсивное производство сельскохозяйственной продукции на основе машинных технологий. Сельскохозяйственное производство, как совокупность созданных людьми агроэкосистем, играет значимую роль в вопросе формирования глобальной экологической устойчивости нашей планеты. При производстве сельскохозяйственной продукции занято 37,2% всей суши земли, используется 60–70% пресной воды от общего потребления, поступает в атмосферу 14,5% парниковых газов от общих выбросов [2].

Основной особенностью развития современного сельского хозяйства является применение высокоинтенсивных технологий. Особенно это проявляется в животноводстве и птицеводстве, где происходит концентрация поголовья на крупных фермах и комплексах. Это позволяет сократить экономические издержки, но создает существенные экологические риски. Интенсификация сельскохозяйственного производства привела к возникновению целого ряда экологических проблем:

– большие объемы навоза и помета вблизи крупных комплексов;

– необходимость транспортировки органических удобрений на большие расстояния;

– низкий уровень доли перерабатываемых органических отходов (по ряду субъектов доля перерабатываемых и используемых органических отходов не превышает 20-30%) [3];

– ухудшение качества почв сельскохозяйственных земель (недостаток питательных элементов составляет более 6000 тыс.тонн действующего вещества в год) [4] – [6];

– высокий уровень диффузной нагрузки на окружающую среду (на примере водных объектов по азоту до 150 кг/га, по фосфору до 10 кг/га, при средней норме 15–20 и 1–1,5 кг/га соответственно) [7] – [11];

– низкий уровень использования вторичных ресурсов и энергосберегающих технологий и др.

Исследования, проводимые в ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и других научных учреждениях показали [12] – [18], что одним из основных рисков негативного воздействия на окружающую среду является система обращения с органическими отходами животноводства. На примере Северо-Запада России такие риски превышают 85% [12]. В целом по России ежегодно образуется не менее 600 млн. тонн навоза и помета, что в разы больше общего объема производства основной продукции сельскохозяйственного производства (зерна, мяса, молока, картофеля, овощей). При этом официальная статистика показывает, что перерабатывается и используется органических удобрений менее 50% от образования. Оснащённость техникой для транспортировки и внесения органических удобрений в установленные агротехнические сроки и соблюдением экологических требований не превышает 30%, недостаток технических средств составляет более 22000 единиц. Сложившаяся ситуация ведет к ежегодным потерям питательных элементов не менее 2,2 млн.т азота и 0,36 млн.т фосфора. Указанные потери бесконтрольно поступают в окружающую среду, создавая высокий риск ее загрязнения [12].

Важнейшим вопросом последних лет является выбросы парниковых газов [19] – [22]. По состоянию на 2020 год выбросы парниковых газов в России от сельского хозяйства оцениваются в 116,6 млн. т в CO_2-экв. В структуре выбросов от

сельскохозяйственных источников в растениеводстве большая часть приходится на N_2O. в результате интенсивного использования почв сельскохозяйственных земель. Основные источники выбросов в атмосферу при производстве животноводческой продукции - это внутренняя ферментация животных и системы обращения с органическими отходами. Выбросы аммиака в России по состоянию на 2020 год составили 1,2 млн.т. От сектора «животноводство» в Европейской части Российской Федерации выделяется около 80% суммарных выбросов аммиака (NH_3)[1].

Одним из новых направлений развития сельского хозяйства является производство органических продуктов питания предусматривающего отказ от использования минеральных удобрений и других химических средств и формирование системы питания растений на органических удобрениях [23]. Отсутствие научно-обоснованной системы технологий и машин сдерживает распространение этого способа производства сельскохозяйственной продукции или приводит к его неэффективной реализации. Данное направление производства особенно важно для устойчивого развития сельских территорий, где производство органической продукции могло бы стать одним из основных для обеспечения занятости населения и сохранения площадей сельскохозяйственных угодий. Основой производства органической продукции является ведение севооборота и использование органических удобрений для поддержания плодородия почв, поэтому разработка научных принципов производства с эффективным вовлечением всех видов органических удобрений является актуальной и важной задачей.

Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (СНТР)[2], утвержденной Президентом России, обозначены основные ориентиры и возможности научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшую и долгосрочную перспективу. Сформулированы большие вызовы для общества, государства и науки, в числе которых потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе, обеспечение экологической безопасности и применение цифровых технологий. Стоит задача перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, к высокопродуктивному и экологически чистому агропроизводству, разработке и внедрению систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений.

Для реализации СНТР формируется соответствующее законодательство, внесены поправки в закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», регулирующие переход на наилучшие доступные технологии, приняты законы № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской

---

[1] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, разработан и представлен в соответствии с обязательствами Российской Федерации по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата и Киотскому протоколу к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. 2022. 468 с.

[2] Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Федерации», № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» и № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Регулирование воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду требует создания принципиально новой системы управления экологической безопасностью агроэкосистем, обеспечивающей полный учет и достоверность всех факторов техногенного воздействия. Основным инструментом реализации такой задачи может стать интеллектуальная аналитическая программная платформа - как единая информационно-технологическая инфраструктура, создаваемая с целью повышения уровня обоснованности и оперативности принятия решений.

Для формирования системы управления экологической безопасностью агроэкосистем необходима соответствующая концепция, предусматривающая систему теоретических взглядов, объединенных научной идеей; определенный способ понимания, трактовки каких-либо явлений. Концепция определяет стратегию действий.

Цель данного исследования – разработать концепцию управления экологической безопасностью агроэкосистем, включающей систему теоретических взглядов, объединенных научной идеей и задачами исследований, с указанием направлений их реализации.

Методы

При проведении исследований использован метод системного анализа опубликованных результатов научных работ по экологической безопасности агроэкосистем, формированию технологий производства сельскохозяйственной продукции и рециклингу отходов.

Объектами исследований являются методы решения проблем экологической безопасности при производстве сельскохозяйственной продукции, мониторинга парниковых газов и управления агроэкосистемами. В проведении исследований использованы методы обобщения литературы, визуализации проблемы, анализ формулировок, накопление и систематизация информации.

Результаты и обсуждение

Анализ научных работ и международных программ в области управления экологической безопасности сельскохозяйственного производства выявил три основных вида управленческих воздействий: 1. нормативно-правовые, 2. технико-технологические, 3. информационные и цифровые. Нормативно-правовое направление воздействия на экологическую безопасность заключается в разработке соответствующих законов, нормативных и рекомендательных документов, систем финансового поощрения при внедрении природосберегающих технологий и наказания за загрязнение окружающей среды и нерациональное использование ресурсов. Технико-технологическое воздействие связано с разработкой и внедрением энергоресурсосберегающих, экологически безопасных машинных технологий, роботизированной техники и цифровых систем для производства высококачественной сельскохозяйственной продукции. Информационное и цифровое направление связано с разработкой аналитических платформ, способных аккумулировать, систематизировать и обрабатывать данные с предоставлением всей необходимой информации в области управления экологической безопасностью

агроэкосистем, а также осуществлять функцию обучения и распространения знаний [24] – [25].

Для работы по указанным трем направлениям в ИАЭП уже создан научно-технический задел, позволяющий решать ряд локальных задач обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственного производства. Дальнейшее развитие агроэкологических исследований должно быть направлено на получение новых знаний и разработок, способных реализовать эффективную систему управления экологической безопасностью агроэкосистем, включая функционал прогнозирования и проактивного управления (рис. 1)

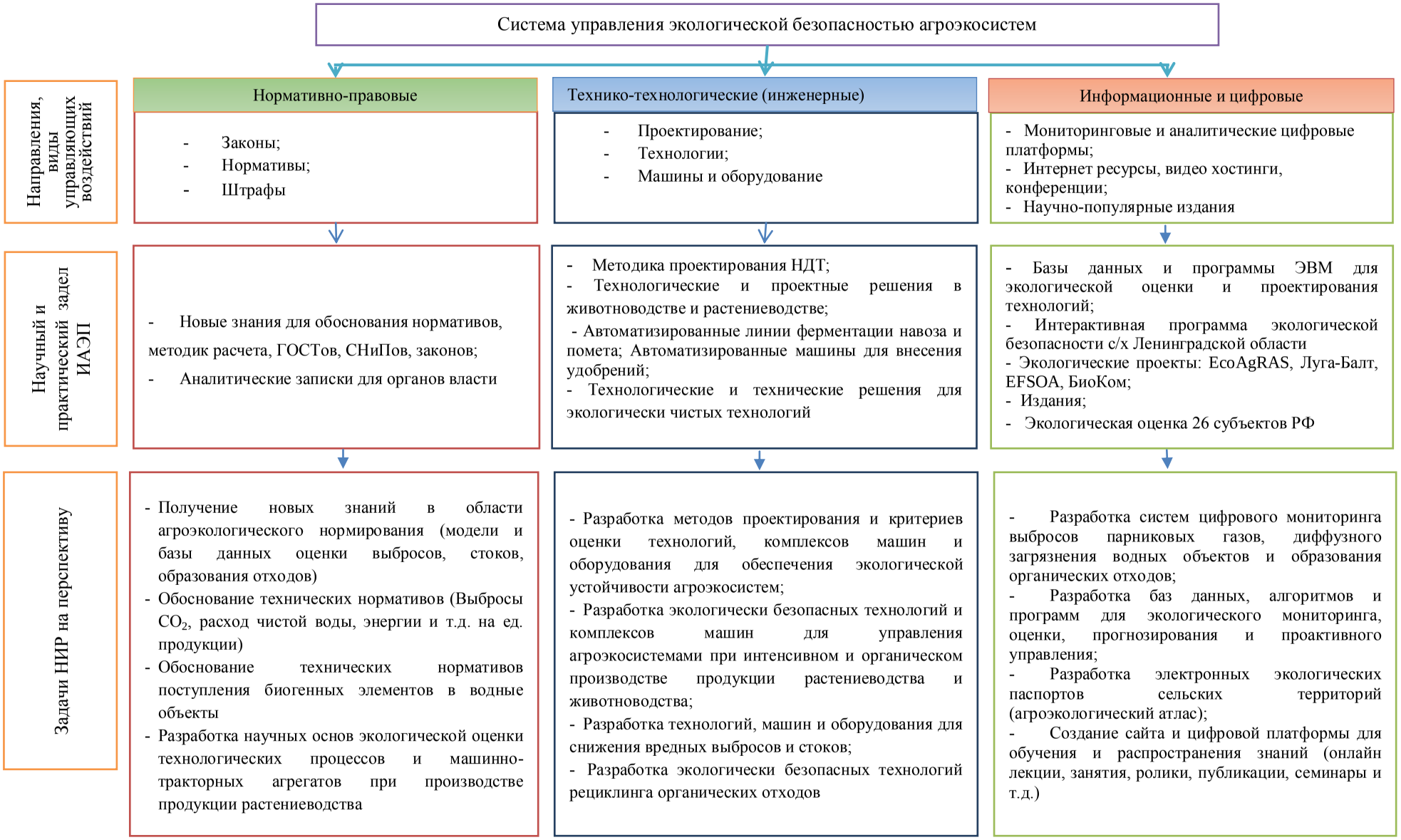


Рис. 1. Схема системы управления экологической безопасностью агроэкосистем

Представленная на рисунке 1 схема отражает основные цели и задачи концепции управления экологической безопасностью агроэкосистем и является ориентиром для планирования и реализации научных исследований ИАЭП по направлению агроэкология.

Управление экологической безопасностью агроэкосистем сопряжено с большими потоками информации, ее обработкой и моделированием технологических процессов. Для этого необходимо создание интеллектуальной аналитической программной платформы - которая является совокупностью баз данных, алгоритмов, моделей и программных средств. Функционально структурная схема ИАПП (рисунок 2) включает 4 основных блока: 1 - Блок экологические показатели и критерии оценки, 2 – Функционал (мониторинг, оценка, прогнозирование, принятие решений, проактивное управление), 3- Базы данных и 4 – научно-техническая продукция.

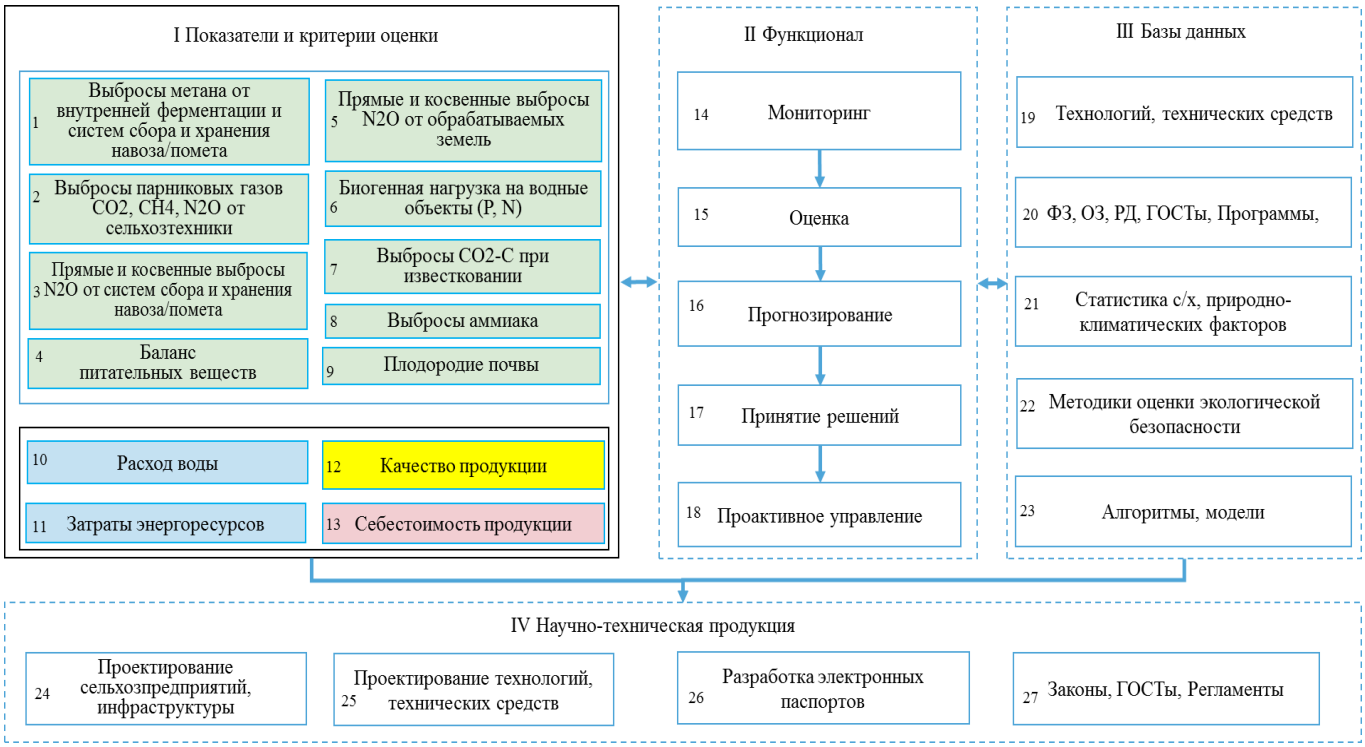


Рис. 2. Функционально структурная схема ИАПП

ИАПП объединяет результаты НИР, накопленные ИАЭП по направлению «Агроэкология» и уже включает ряд методик экологической оценки и методов проектирования экологически безопасных технологий и технических средств производства сельскохозяйственной продукции. В 2022 году была создана цифровая база данных диффузной нагрузки на водные объекты и программа ЭВМ для проведения расчетов на всей территории России. Для расширения возможностей ИАПП в части мониторинга, экологической оценки, прогнозирования и проактивного управления на ближайшую перспективу запланировано проведение исследований с получением следующих результатов:

- Модели и базы данных прогнозирования выбросов климатических активных газов: для технологий: содержания КРС, свиней и птицы, сбора, хранения и переработки отходов животноводства, производства продукции растениеводства в различных природно-климатических условиях.

- Технико-технологические решения направленные на снижение выбросов климатически активных газов и стоков от животноводческих комплексов и очистку выбросов, образуемых при интенсивных технологиях переработки побочной продукции животноводства, с цифровой системой контроля технологического процесса.

- Алгоритм управления искусственной агроэкосистемой, утилизирующей стоки и выбросы животноводческих ферм.
- Модель оценки влияния уплотнения почвы при производстве продукции растениеводства на поступление азота и фосфора в водные объекты.
- Научные основы экологической оценки технологических процессов и машинно-тракторных агрегатов при производстве продукции растениеводства.
- Зависимости влияния различных доз биологически активного органического удобрения на параметры роста плодовых саженцев и плодоношение ягодных культур.

Выводы

Возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду, снижение плодородия почв и загрязнение водных источников при производстве сельскохозяйственной продукции является одним из значимых вызовов, указанным в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Анализ мировых тенденций в области экологизации всех видов хозяйственной деятельности позволяет сделать вывод о будущей их большой роли в выстраивании экономических отношений и на развитие общества. Согласно разработанной концепции управления экологической безопасностью агроэкосистем можно выделить три основных вида управленческих воздействий: 1. нормативно-правовые, 2. технико-технологические, 3. информационные и цифровые. Основными направлениями исследований в развитии данных видов управленческого воздействия являются:

Нормативно-правовые

- Получение новых знаний в области агроэкологического нормирования (модели и базы данных оценки выбросов, стоков, образования отходов);
- Обоснование технических нормативов (Выбросы CO2, расход чистой воды, энергии и т.д. на ед. продукции);
- Обоснование технических нормативов поступления биогенных элементов в водные объекты;
- Разработка научных основ экологической оценки технологических процессов и машинно-тракторных агрегатов при производстве продукции растениеводства.

Технико-технологические

- Разработка методов проектирования и критериев оценки технологий, комплексов машин и оборудования для обеспечения экологической устойчивости агроэкосистем;
- Разработка экологически безопасных технологий и комплексов машин для управления агроэкосистемами при интенсивном и органическом производстве продукции растениеводства и животноводства;
- Разработка технологий, машин и оборудования для снижения вредных выбросов и стоков;

- Разработка экологически безопасных технологий рециклинга органических отходов.

Информационные и цифровые

- Разработка систем цифрового мониторинга выбросов парниковых газов, диффузного загрязнения водных объектов, почв и образования органических отходов;
- Разработка баз данных, алгоритмов, моделей и программ для экологического мониторинга, оценки, моделирования, прогнозирования и проактивного управления;
- Разработка электронных экологических паспортов сельских территорий (агроэкологический атлас);
- Создание сайта и цифровой платформы для обучения и распространения знаний (онлайн лекции, занятия, ролики, публикации, семинары и т.д.)

Современный уровень цифровых и инженерных решений, компьютерных интеллектуальных технологий позволяет сегодня перейти к созданию системы управления экологической безопасностью агроэкосистем, базирующейся на интеллектуальной программно-аналитической платформе. ИАПП строится на разработке современных методов оценки воздействия агротехнологий на окружающую среду, методиках и приборно-аналитическом обеспечении, обоснованных принципах построения экологически устойчивых агроэкосистем, разработке норм воздействия на окружающую среду и природоохранных агротехнических требований, программах поддержки производства и освоения экологически безопасных технологий и технических средств, методах эколого-экономического мониторинга эффективности освоения природосберегающих агротехнологий. ИАПП позволит эффективно решать задачи мониторинга, оценки, прогнозирования, принятия решений и проактивного управления для обеспечения долгосрочной экологической устойчивости агроэкосистем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харари Ю.Н. Sapiens. Краткая история человечества. М.: Синдбад. 2021. 520 с.

2. Брюханов А.Ю. Актуальность агроэкологии будет расти // *Сельскохозяйственные вести*. 2022. №3. С. 4–8.

3. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Хухта Х., Васильев Э.В. Информационная система для мониторинга и управления органическими отходами животноводства // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 4 (109). С. 94-106. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-4109-94-105.

4. Иванов А. Ю., Дурманов Н. Д., Орлов М. П., Пиксендеев К. В., Ровнов Ю. Е., Лукша П. О., Макаров И. А., Птичников А. В., Степанов И. А., Харченко М. М., Чертков Г. М. *Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад*. Под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова. М.: Издательский дом НИУВШЭ, 2021. 120 с.

5. Беляев В.И., Варлагин А.В., Дридигер В.К., Курганова И.Н., Орлова Л.В., Орлов С.В., Попов А.И., Романовская А.А., Тойгильдин А.Л., Троц Н.М., Фомин А.А., Хомяков Д.М. Мировая климатическая повестка. Почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное)

земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков // *International Agricultural Journal*. 2022. Vol. 65. No. 1, pp. 421-441.

6. Эдельгериев Р.С.Х., Иванов А.Л., Донник И.М., Багиров В.А., Кулик К.Н., Кононенко О.В., Николаев М.В., Усков А.О., Усков И.Б., Чесноков Ю.В., Якушев В.П., Беляев А.И., Козлов Д.Н., Савин И.Ю., Духанин Ю.А., Соломина О.Н., Куст Г.С., Юрова А.Ю., Вильфанд Р.М., Катцов В.М. и др. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). Национальный доклад. Том 3. М.: Издательство МБА. 2021. 700 с.

7. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Изменение стока и биогенного выноса малыми притоками финского залива в результате возможных изменений регионального климата // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 6. С. 56-65.

8. Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А., Расулова А.М., Коробченкова К.Д. Ладожское озеро - геостратегический водный объект Северо-Запада России и его зоны экологического риска // *Гидрометеорология и экология*. 2021. № 62. С. 139-161.

9. Анохин В.М., Барбашова М.А., Голосов С.Д., Гузева А.В., Гусева М.А., Дудаков М.О., Зверев И.С., Иванова Е.В., Игнатьева Н.В., Измайлова А.В., Капустина Л.Л., Каретников С.Г., Кондратьев С.А., Корнеенкова Н.Ю., Коробченкова К.Д., Кузнецов Д.Д., Курашов Е.А., Лапенков А.Е., Лудикова А.В., Ляховская А.К. и др. Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. М.: РАН. 2021. 640 с.

10. Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д., Яшин В.М. Оценка диффузного загрязнения от сельскохозяйственных территорий в бассейне верхней Волги и разработка мероприятий по его снижению на примере реки Яхромы // *Водные ресурсы*. 2020. Т. 47. № 5. С. 523-535.

11. Izmaylov A., Popov V., Briukhanov A., Kondratyev S., Oblomkova N., Grevtsov O. Quantification of nitrogen and phosphorus inputs from farming activities into the water bodies in the Leningrad and Kaliningrad regions. *Environ Monit Assess*, 2022. Vol. 194, 508 DOI: 10.1007/s10661-022-10155-z.

12. Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Методика оценки технологий переработки жидкого навоза // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. № 3(47). С. 69-77. DOI 10.51794/27132064-2022-3-69.

13. Izmaylov A., Briukhanov A., Shalavina E., Vasilev E. Pig manure management: a methodology for environmentally friendly decision-making. *Animals*, 2022, Vol. 12, 747. DOI: 10.3390/ani12060747

14. Hörtenhuber S. J., Seiringer M., Zollitsch W. J. Implementing an appropriate metric for the assessment of greenhouse gas emissions from livestock production: A national case study. *Animal*. 2022. Vol. 16, Issue 10, 100638. DOI:10.1016/j.animal.2022.100638

15. Поздняков Ш.Р., Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Игнатьева Н.В., Шмакова М.В., Минакова Е.А., Расулова А.М., Обломкова Н.С., Васильев Э.В., Терехов А.В. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования) // *Водные ресурсы*. 2020. Т. 47. № 5. С. 588-602.

16. Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Субботин И.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Результаты агроэкологических исследований в рамках европейских программ сотрудничества // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 98. С.236-247.

17 Luostarinen S., Grönroos J., Hellstedt M., Nousiainen J., Munther J. Modeling manure quantity and quality in Finland. *Front. Sustain. Food Syst*. 2018, No. 2, 60. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00060.

18. Bhupendra Koul, Mohammad Yakoob, Maulin P. Shah. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*. 2022. Vol. 206, 112285. DOI:10.1016/j.envres.2021.112285.

19. Vries W. de, Kros J., Voogd J. C., Ros G. H. Integrated assessment of agricultural practices on large scale losses of ammonia, greenhouse gases, nutrients and heavy metals to air and water. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 857, Part 1, 159220. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.133720.

20. Haiyan Zhang, Yue Xu, Michael L. Lahr. The greenhouse gas footprints of China's food production and consumption (1987–2017). *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 301, 113934.

21. Гинзбург В.А., Нахутин А.И., Вертянкина В.Ю., Говор И.Л., Грабар В.А., Зеленова М.С., Имшенник Е.В., Лытов В.М., Полумиева П.Д., Попов Н.В., Трунов А.А., Николова А., Понгсри-Ям В. Расчет эмиссии парниковых газов и подготовка отчетности для стран центральной Азии (с учетом Парижского соглашения) Методические рекомендации. М.: ЭСКАТО (ООН); ФГБУ «ИГКЭ». 2021. 275 с.

22. Wang X., Liu X., Li J. Greenhouse gas reduction and nitrogen conservation during manure composting by combining biochar with wood vinegar. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 324, 116349.

23. Miller C., Waterhouse H., Harter T., Fadel J., Meyer D. Quantifying the uncertainty in nitrogen application and groundwater nitrate leaching in manure based cropping systems. *Agricultural Systems*. 2020. Vol. 184(C). pp. 1-14. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102877.

24. Крылов А.В., Охтилев М.Ю., Соболевский В.А., Соколов Б.В., Ушаков В.А. Методологические и методические основы создания и использования интегрированных систем поддержки принятия решений // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2020. Т. 63. № 11. С. 963-974.

25. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Стыскин М.М., Джао В.Ю.Д. Концепция и технологии проактивного управления жизненным циклом изделий // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2020. Т. 63. № 2. С. 187-190.

REFERENCES

1. Harari Yuval Noah. Sapiens: A Brief History of Humankind. NY: HarperCollins Publishers. 2015. 520 p. (Russ. ed: Kharari Yu.N. *Sapiens. Kratkaya istoriya chelovechestva*. Moscow: Sindbad. 2021. 520)

2. Briukhanov A.Yu. Aktual'nost' agroekologii budet rasti [The relevance of agroecology is going to grow]. *Sel'skokhozyaistvennye vesti*. 2022. No.3: 4–8 (In Russian)

3. Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Khukhta Kh., Vasil'ev E.V. Informatsionnaya sistema dlya monitoringa i upravleniya organicheskimi otkhodami zhivotnovodstva [Information system for organic livestock waste monitoring and management]. *AgroEkoInzheneriya*. 2021. No. 4 (109): 94-106 (In Russian) DOI: 10.24412/2713-2641-2021-4109-94-105.

4. Ivanov A. Yu., Durmanov N. D., Orlov M. P., Piksendeev K. V., Rovnov Yu. E., Luksha P. O., Makarov I. A., Ptichnikov A. V., Stepanov I. A., Kharchenko M. M., Chertkov G. M. Bitva za klimat: karbonovoe zemledelie kak stavka Rossii: ekspertnyi doklad. Pod red. A. Yu. Ivanova, N. D. Durmanova. [The battle for climate: carbon farming as Russia's stake: expert report. A.Yu. Ivanov, N.D.Durmanov (eds)]. Moscow: NIUVShE Publ., 2021. 120 p. (In Russian)

5. Belyaev V.I., Varlagin A.V., Dridiger V.K., Kurganova I.N., Orlova L.V., Orlov S.V., Popov A.I., Romanovskaya A.A., Toigil'din A.L., Trots N.M., Fomin A.A., Khomyakov D.M. Mirovaya klimaticheskaya povestka. Pochvozashchitnoe resursosberegayushchee (uglerodnoe) zemledelie kak standart mezhnatsional'nykh i natsional'nykh strategii po sokhraneniyu pochv i agrarnykh karbonovykh rynkov [The global climate agenda. Soil conservation resource-saving (carbon) agriculture as a standard of international and national strategies for soil conservation and agricultural carbon markets]. *International Agricultural Journal*. 2022. Vol. 65. No. 1: 421-441 (In Russian)

6. Edel'geriev R.S.Kh., Ivanov A.L., Donnik I.M., Bagirov V.A., Kulik K.N., Kononenko O.V., Nikolaev M.V., Uskov A.O., Uskov I.B., Chesnokov Yu.V., Yakushev V.P., Belyaev A.I., Kozlov D.N., Savin I.Yu., Dukhanin Yu.A., Solomina O.N., Kust G.S., Yurova A.Yu., Vil'fand R.M., Kattsov V.M. i dr. Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstvii i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo). Natsional'nyi doklad. Tom 3 [Global climate and soil cover of Russia: manifestations of drought, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry). National Report. Vol. 3]. Moscow: MBA Publ. 2021. 700 p. (In Russian) DOI: 10.52479/978-5-6045103-9-1

7. Kondrat’ev S.A., Shmakova M.V. Izmenenie stoka i biogennogo vynosa malymi pritokami finskogo zaliva v rezul'tate vozmozhnykh izmenenii regional'nogo klimata [Changes in runoff and nutrient removal by small tributaries of the Gulf of Finland as a result of possible regional climate change]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2022. No. 6: 56-65 (In Russian)

8. Pozdnyakov Sh.R., Kondratyev S.A., Rasulova A.M., Korobchenkova K.D. Ladozhskoe ozero - geostrategicheskii vodnyi ob"ekt Severo-Zapada Rossii i ego zony ekologicheskogo riska [Lake Ladoga is a geostrategic water body in the North-West of Russia and its zone of environmental risk]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2021. No. 62: 139-161 (In Russian)

9. Anokhin V.M., Barbashova M.A., Golosov S.D., Guzeva A.V., Guseva M.A., Dudakov M.O., Zverev I.S., Ivanova E.V., Ignat'eva N.V., Izmailova A.V., Kapustina L.L., Karetnikov S.G., Kondrat'ev S.A., Korneenkova N.Yu., Korobchenkova K.D., Kuznetsov D.D., Kurashov E.A., Lapenkov A.E., Ludikova A.V., Lyakhovskaya A.K. et al. Sovremennoe sostoyanie i problemy antropogennoi transformatsii ekosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata [Current state and problems of anthropogenic transformation of the Ladoga Lake ecosystem under conditions of changing climate]. Moscow: Russian Academy of Sciences. 2021. 640 p. (In Russian)

10. Kireycheva L.V., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D., Yashin V.M. Otsenka diffuznogo zagryazneniya ot sel'skokhozyaistvennykh territorii v basseine verkhnei Volgi i razrabotka meropriyatii po ego snizheniyu na primere reki Yakhromy [The assessment of the diffuse pollution from agricultural territories in the upper Volga basin and the development of measures to reduce it: case study of the Yakhroma River]. *Vodnye resursy*. 2020. Vol. 47. No. 5: 523-535 (In Russian)

11. Izmaylov A., Popov V., Briukhanov A., Kondratyev S., Oblomkova N., Grevtsov O. Quantification of nitrogen and phosphorus inputs from farming activities into the water bodies in the Leningrad and Kaliningrad regions. *Environ Monit Assess,* 2022. Vol. 194, 508 (In English) DOI: 10.1007/s10661-022-10155-z.

12. Vasilev E.V., Shalavina E.V. Metodika otsenki tekhnologii pererabotki zhidkogo navoza [Methodology of liquid manure processing technologies evaluating]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve.* 2022. No. 3(47): 69-77. (In Russian) DOI:10.51794/27132064-2022-3-69

13. Izmaylov A., Briukhanov A., Shalavina E., Vasilev E. Pig manure management: a methodology for environmentally friendly decision-making. *Animals,* 2022, Vol. 12, 747. DOI 10.3390/ani12060747

14. Hörtenhuber S. J., Seiringer M., Zollitsch W. J. Implementing an appropriate metric for the assessment of greenhouse gas emissions from livestock production: A national case study. *Animal.* 2022. Vol. 16, Issue 10, 100638. DOI:10.1016/j.animal.2022.100638

15. Pozdnyakov Sh.R., Briukhanov A.Yu., Kondrat'ev S.A., Ignat'eva N.V., Shmakova M.V., Minakova E.A., Rasulova A.M., Oblomkova N.S., Vasil'ev E.V., Terekhov A.V. Perspektivy sokrashcheniya vynosa biogennykh elementov s rechnykh vodosborov za schet vnedreniya nailuchshikh dostupnykh tekhnologii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva (po rezul'tatam modelirovaniya) [Prospects for reducing the recovery of nutrients from river waterships through the introduction of the best available technologies of agricultural production (by simulation results)]. *Vodnye resursy*. 2020. Vol. 47. No. 5: 588-602 (In Russian)

16. Briukhanov A. Yu., Maksimov D.A., Subbotin I.A., Vasilev E.V., Shalavina E.V. Rezul'taty agroekologicheskikh issledovanii v ramkakh evropeiskikh programm sotrudnichestva [Results of agro-environmental studies in the framework of European cooperation programmes]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 98: 236-247. (In Russian)

17. Luostarinen S., Grönroos J., Hellstedt M., Nousiainen J., Munther J. Modeling manure quantity and quality in Finland. *Front. Sustain. Food Syst*. 2018, No. 2, 60. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00060.

18. Bhupendra Koul, Mohammad Yakoob, Maulin P. Shah. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*. 2022. Vol. 206, 112285. DOI:10.1016/j.envres.2021.112285.

19. Vries W. de, Kros J., Voogd J. C., Ros G. H. Integrated assessment of agricultural practices on large scale losses of ammonia, greenhouse gases, nutrients and heavy metals to air and water. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 857, Part 1, 159220. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.133720.

20. Haiyan Zhang, Yue Xu, Michael L. Lahr. The greenhouse gas footprints of China's food production and consumption (1987–2017). *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 301, 113934.

21. Ginzburg V.A., Nakhutin A.I., Vertyankina V.Yu., Govor I.L., Grabar V.A., Zelenova M.S., Imshennik E.V., Lytov V.M., Polumieva P.D., Popov N.V., Trunov A.A., Nikolova A., Pongsri-Yam V. Raschet emissii parnikovykh gazov i podgotovka otchetnosti dlya stran tsentral'noi Azii (s uchetom Parizhskogo soglasheniya) Metodicheskie rekomendatsii [GHG Inventory tools: Guidance on GHG emission calculations and reporting for Central Asian countries, taking into account the Paris Agreement]. Moscow: U; FGBU «IGKE». 2021. 275 p. (In Russian)

22. Wang X., Liu X., Li J. Greenhouse gas reduction and nitrogen conservation during manure composting by combining biochar with wood vinegar. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 324, 116349.

23. Miller C., Waterhouse H., Harter T., Fadel J., Meyer D. Quantifying the uncertainty in nitrogen application and groundwater nitrate leaching in manure based cropping systems. *Agricultural Systems*. 2020. Vol. 184(C): 1-14. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102877.

24. Krylov A.V., Okhtilev M.Yu., Sobolevskiy V.A., Sokolov B.V., Ushakov V.A. Metodologicheskie i metodicheskie osnovy sozdaniya i ispol'zovaniya integrirovannykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Methodological and methodical bases for creating and using integrated systems of decision-making support]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie*. 2020. Vol. 63. No. 11: 963-974 (In Russian)

25. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M., Styskin M.M., Gao Un.-D. Kontseptsiya i tekhnologii proaktivnogo upravleniya zhiznennym tsiklom izdelii [Concept and technologies of proactive management of product life cycle]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie.* 2020. Vol. 63. No. 2: 187-190 (In Russian)

УДК 623.746.4-519: 57.087: 633.412 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-19-36

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АГРОЭКОСИСТЕМЫ СВЕКОЛЬНОГО ПОЛЯ В ОРГАНИЧЕСКОМ СЕВООБОРОТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

С.А. Ракутько, д-р техн.наук; А.Е. Маркова, канд. с.-х. наук;
А.П. Мишанов; Е.Н. Ракутько; Е.А. Мурзаев

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Использование мультиспектральной камеры при аэросъемке с беспилотного летающего судна открывает широкие перспективы для оценки состояния агроэкосистемы. Получаемые изображения требуют обработки при помощьи специализированного программного обеспечения. В данном исследовании мы оценили возможность анализа результатов мультиспектральной съемки с помощью распространенной программы ImageJ на примере свекольного поля в органическом севообороте. Эксперимент проводили в сезон 2022 г. на опытном поле ИАЭП. Варианты опыта заключались в различных дозах органического удобрения «БИАГУМ» (0, 80 и 160 кг·га$^{-1}$), внесенных перед посевом. Все биометрические параметры растений свеклы определяли на 104-й день после посева. Снимки поля получали с помощью квадрокоптера DJI Phantom IV Multispectral RTK. Снимки преобразовывали в отдельных спектральных диапазонах в стек и по интенсивности серого выделяемых групп пикселей определяли коэффициенты отражения листьев свеклы в этих диапазонах. По полученным значениям рассчитывали стандартные вегетационные индексы *NDVI, NDRE, GNDVI, RVI* и *GRVI*. Было найдено, что при увеличении дозы азота от нуля до 160 кг·га$^{-1}$ симбатно изменяется масса растения свеклы в целом на 58%, масса корнеплода – на 49%, его

средний диаметр – на 17% и длина – на 15%, масса листьев – на 77%, длина наибольшего листа – на 24%, а содержание хлорофилла в листьях – на 9%. Соотношение массы надземных и подземных органов остается на уровне 0,65-0,71 отн. ед., что свидетельствует о стабильности развития растения независимо от применяемой в эксперименте дозы азота. Увеличение урожайности при этом оценено величиной 20%. Влияние дозы вносимого азота на величины вегетационных индексов не выявлено. Разработанная методика является удобным средством обработки результатов мультиспектральной съемки при биоиндикации агроэкосистемы.

Ключевые слова: агроэкосистема, органическое сельское хозяйство, столовая свекла, биоиндикация, беспилотное воздушное судно, аэрофотосъемка, мультиспектральная камера, ImageJ, вегетационный индекс, NDVI.

Для цитирования: Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е., Мурзаев Е.А. Биоиндикационная оценка состояния агроэкосистемы свекольного поля в органическом севообороте с использованием мультиспектральной съемки // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С.18-36

BIOINDICATIVE ASSESSMENT OF THE BEET FIELD AGROECOSYSTEM IN ORGANIC CROP ROTATION WITH MULTISPECTRAL PHOTOGRAPHY

S.A. Rakutko, DSc (Engineering), A.P. Mishanov, E.N. Rakutko, A.E. Markova, Cand. Sc. (Agriculture), E.A. Murzaev

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The use of a multispectral camera for aerial photography from an unmanned aerial vehicle opens up broad prospects for assessing the state of the agroecosystem. The obtained images require processing with special software. In this study, we evaluated the possibility of analyzing the results of a multispectral photography with the common program ImageJ on the example of a table beet field in an organic crop rotation. The experiment was carried out in the growing season of 2022 on the IEEP experimental field. The experiment variants differed in the doses of organic fertilizer "BIAGUM" (0. 80 and 160 kg.ha^{-1}) applied before seeding. All biometric parameters of beet plants were measured on the 104th day after seeding. Field images were taken with DJI Phantom IV Multispectral RTK drone. The images in separate spectral bands were converted into a stack, and the reflection coefficients of beet leaves in these bands were determined using the gray intensity of the selected pixel groups. The obtained values were used to calculate the standard vegetation indices NDVI, NDRE, GNDVI, RVI, and GRVI. It was found that with an increase in the nitrogen dose from zero to 160 kg.ha^{-1}, the overall mass of the beet plant changed symbatically by 58%, the root mass – by 49%, its mean diameter – by 17% and length – by 15%, the leaf mass – by 77%, the length of the largest leaf – by 24%, and the chlorophyll content of the leaves – by 9%. The shoot-root ratio remained at the level of 0.65 to 0.71 relative units. This indicated the plant developmental stability regardless of the nitrogen dose applied in the experiment. The increase in yield in this case was estimated at 20%. The effect of the applied nitrogen dose on the values of vegetation indices

was not revealed. The developed technique is a convenient tool for processing the results of multispectral photography for bioindication of an agroecosystem.

Key words: agroecosystem, organic agriculture, table beet, bioindication, unmanned aerial vehicle, aerial photography, multispectral camera, ImageJ, vegetation index, NDVI

For citation: Rakutko S.A., Mishanov A.P., Rakutko E.N., Markova A.E., Murzaev E.A. Bioindicative assessment of the beet field agroecosystem in organic crop rotation with multispectral photography. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4 (113): 18-36 (In Russian)

Введение. Аграрный сектор в настоящее время сталкивается с рядом проблем, среди которых важнейшей является экологическая. Из новых технологий применение аэросъемки с беспилотного воздушного судна (БВС) является одним из перспективных нововведений. Предоставляемые этой технологией возможности определяют ее быстрое внедрение в сельском хозяйстве [1]. Эта технология, позволяющая получить оптические изображения объектов в отдельных спектральных диапазонах, является важнейшим аспектом цифровизации сельского хозяйства [2]. Беспилотные системы находят широчайшее применение. Например, в сочетании с мультиспектральной съемкой они являются эффективным методом оценки и мониторинга действия вредителей на сельскохозяйственные угодья [3].

При оценке состояния агроэкосистем применение методов биоиндикации позволяет исследовать воздействие изменяющихся экологических факторов на различные характеристики биологических объектов и систем. В качестве тестовых могут быть приняты те растения, которые выращиваются в данной в агроэкосистеме [4].

Эксперименты с отдельными видами травянистых растений показали, что их морфология в зависимости от условий окружающей среды, в частности, формируемой различной степенью антропогенной нагрузки, характеризуется кратно различающимися значениями таких параметров, как площадь, периметр и показатели формы листа. Выявлено, что цветовые параметры у листовых пластинок различных видов растений изменяются в существенно меньшем диапазоне, однако они так же могут быть применены при биоиндикации уровня антропогенной нагрузки [5].

Электромагнитная энергия взаимодействует с растительностью по-разному в зависимости от длины волны. В красной зоне спектра расположен максимум поглощения хлорофиллом солнечной радиации. Клеточная структура листа больше отражается в длинноволновом диапазоне. Таким образом, растительность с большой фитомассой (и более высокой фотосинтетической активностью) имеет более низкие значения коэффициентов отражения в красной зоне спектра и более высокие в ближней инфракрасной. Эти различия позволяют провести анализ состояния здоровья растений и состояния биомассы методами дистанционного зондирования по коэффициентам отражения полога, учитываемым вегетационными индексами (ВИ). По полученным мультиспектральным изображениям возможно определение значения ВИ для всего поля за один пролет БВС [6].

Наиболее часто используется нормализованный разностный индекс вегетации (*NDVI*) для мониторинга стресса

от засухи и прогнозирования управления растениеводством [7]. Оценки биомассы и *NDVI* in situ отнимают много времени и требуют дорогостоящего отбора проб и анализов. Поэтому при наземных измерениях обычно ограничиваются небольшим числом точек отбора проб на поле. Таким образом, оценка *NDVI* и надземной биомассы на основе анализа изображений получаемых с помощью БВС, является хорошей альтернативой наземным измерениям. Для растительного покрова корреляция между густотой растительности и этим индексом $R^2=0,86$ [8].

Индекс *NDVI* уже давно используется в качестве косвенного измерения биомассы и урожайности сельскохозяйственных культур [9]. При оценки урожая пшеницы наилучшие результаты имели R^2 = 0,79 [10]. Найдена сильная корреляция (R^2 = 0,84) между наземным и дистанционным, на основе анализа мультиспектральных изображений, методами определения *NDVI* при различных дозах азота у пшеницы [11]. В других исследованиях связи между *NDVI* и урожайностью пшеницы выявили очень тесную корреляцию между ними R^2=0,83 [12]. Для картофеля получена прогностическая модель с R^2= 0,90 [13]. Использование ВИ позволяет выявить участки с хорошим развитием культур и участки с плохим состоянием растительности для построения цифровых моделей рельефа [14].

Среди других сельскохозяйственных культур, важное место занимает свекла обыкновенная (*Beta vulgaris L.),* относящаяся к подсемейству *Chenopodioideae*, которое включает столовую свеклу, сахарную свеклу и кормовую свеклу. Столовая свекла широко используется в пищевой промышленности и богата витаминами [15]. Оптимальная плотность размещения растений обеспечивает им достаточное количество воды и света, повышая тем самым эффективность фотосинтеза и урожайности столовой свеклы [16].

Большое влияние на среду выращивания свеклы и, в конечном счете, на ее урожайность оказывают агротехнические методы, прежде всего, использование удобрений [17]. Большинство фермеров для повышения урожайности применяют азотные удобрения. Азот является одним из наиболее важных питательных веществ для обеспечения роста растений и урожайности [18]. Он входит в состав белков, ферментов и витаминов в растениях, а также многих структурных, генетических и метаболических соединений (в том числе хлорофилла) в растительных клетках и необходим для производства растительной биомассы [19].

Влиянию различных норм внесения азотных удобрений под свеклу посвящено множество исследований. Недостаточное азотное питание может снизить содержание азота в растениях, что сказывается на качестве и количестве продукции. Избыток азота может привести к задержке созревания, нарушению равновесия между надземной и подземной частями растения, снижению роста и урожайности [20]. Обнаружено, что повышение уровня азотных удобрений вызывало значительные различия в урожайности и качестве свеклы [21]. По мере повышения дозы вносимого азотного удобрения значительно увеличились рост, урожайность и ее компоненты [22]. Проведены исследования, оптимизирующие плотность посадки свеклы и количество вносимого азота [23]. Содержание азота в почве увеличивает рост свеклы, который в итоге приводит к повышению ее урожайности. Размер корнеплода зависит от дозы азота и густоты посадки, влияющей на конкуренцию

растений за питательные вещества, воду и свет [24].

В настоящее время центр тяжести в растениеводстве переносится на получение экологически чистой продукции с применением органических удобрений для восполнения плодородия почвы [25]. В этих условиях вопросы оценки состояния агроэкосистем приобретают еще большую значимость. Биоиндикационная оценка состояния агроэкосистемы должна являться важной частью информационно-аналитической программной платформы (ИАПП) прогнозирования и управления, обеспечивающих экологическую устойчивость производства [26].

Непосредственно получаемые при мультиспектральной аэрофотосъемке данные визуально мало информативны и требуют применения специализированного программного обеспечения (ПО). Существует множество средств с различными функциональными особенностями, обеспечивающими обработку данных дистанционного зондирования полей. Из них можно отметить Pix4D, Agisoft Metashape, Reality Capture, DroneDeploy. Все они позволяют рассчитать вегетационные индексы и построить карту их распределения по поверхности поля [27]. Несмотря на широкие возможности, предоставляемые этим ПО, его применение в некоторых случаях может быть неудобным, а обеспечиваемый функционал – избыточным. Так, для точечного определения оптических свойств посевов нет необходимости в построении карты распределения этих параметров по полю. Более важным является возможность анализа мультиспектральной информации, предоставляемой неспециализированными программами широкого применения, не требующими, к тому же, мощных вычислительных средств.

Целью настоящего исследования является выявление возможности анализа данных с мультиспектральной камеры без применения специализированного ПО.

Задачи:

1) Разработать методику получения и обработки мультиспектральной информации программными средствами общего назначения;

2) для свекольного поля получить биометрические данные растений на момент их уборки и результаты мультиспектральной съемки поля с БЛС;

3) Выявить взаимосвязь между вегетационными индексами и дозой удобрения, вносимого под свеклу.

Материалы и методы

Организация эксперимента. Материалом для исследований являлись растения столовой свеклы сорта «Двусемянная ТСХА» среднего срока созревания. Листья растения имеют гладкую поверхность зеленой и темно-зеленой окраски, образуют полуприподнятую и стоячую розетку, крепятся на черешках темно-красного и фиолетового цвета. Корнеплоды на 2/3 погружены в почву, имеют гладкую поверхность и темно-красный цвет. Урожайность составляет 4.0–5.2 кг·м$^{-2}$ [28]. Сорт районирован, в том числе для Северо-Западного региона.

Исследования проводили на опытном поле ИАЭП (*59°39'20.0" N, 30°23'03.9" E*), в схеме шестипольного органического севооборота (рис. 1).

Рис. 1. Место размещения опытного поля

Почва на поле дерново-подзолистая суглинистая окультуренная. Посев семян свеклы производили 25.05.2022 г., на гребнях с междурядиями 0,7 м (рис. 2).

Рис. 2. Экспериментальные рядки свеклы

Каждая из девяти экспериментальных делянок площадью 78,4 м^2 включала восемь гребней длиной 14 м. Два гребня между делянками выполняли функции защитных полос. Повторность опыта трехкратная. Варианты опыта заключались в различных количествах внесенного перед посевом органического удобрения «БИАГУМ», изготовляемого в биоконвекторе на основе куриного помета, соответствующих дозам азота 0, 80 и 160 кг·га$^{-1}$. На всем поле в предшествующем эксперименту году это же удобрение вносилось в дозе 80 кг·га$^{-1}$ азота под предшественник картофель.

Погодные условия. Средние многолетние значения температуры и осадков принимали по данным отдела автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений Гидрометеостанции ВИР [29]. Среднемесячные температуры и осадки на опытном поле в вегетационный период 2022 г. принимали по данным метеостанции ИАЭП. Погодные условия вегетационного периода 2022 г. существенно отличались от среднемноголетних данных (рис. 3).

В мае с его пониженной относительно многолетних данных на 23% температурой количество осадков превышало многолетние значения на 37% , что привело к задержке посева свеклы. Погодные условия летних месяцев характеризовались превышением как температуры (от 17 до 30%) так и количества осадков (от 60 до 179%) от среднего многолетнего уровня. Данные по всем параметрам снимали на 104 день посева.

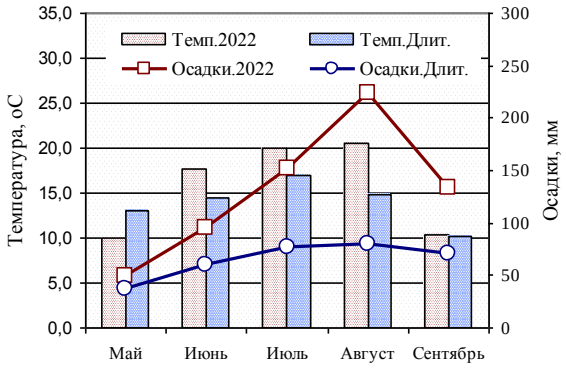


Рис. 3. Среднемесячные температуры и осадки

Дистанционное измерение коэффициентов отражения листьев свеклы производили с помощью квадрокоптера, оборудованного мультиспектральной камерой (рис.4). Высота облета делянок составляла 24 м.

Рис. 4. Квадрокоптер DJI Phantom 4 Multispectral

Установленная на квадрокоптере камера, помимо видимого, обеспечивала съемку в следующих спектральных диапазонах:

- синий (*Blue, B*, 450 нм ± 16 нм): служит для отображения на снимках воды, а также для изучения дна водоёмов;

- зелёный (*Green, G*, 560 нм ± 16 нм): используется для визуализации вегетативной активности растений и процесса их старения, важен при созревании и подготовке к сбору сельскохозяйственных культур;

- красный (*Red, R*, 650 нм ± 16 нм): в аграрном секторе имеет первостепенное значение для анализа качества и состояния почвы, также позволяет визуализировать на мультиспектральном снимке рукотворные объекты;

- красный край (*Red Edge, RE*, 730 нм ± 16 нм): в этом канале, находящемся на границе инфракрасного излучения, наиболее заметен пигмент хлорофилл, при участии которого происходит фотосинтез;

- ближний инфракрасный (*Near-Infrared, NIR*, 840 нм ± 26 нм); канал используется для аналогичных целей и расположен на границе видимого света и среднего инфракрасного излучения.

Монохромные изображения сохраняются в формате tiff, 16 - бит градации серого. Интенсивность серого на снимке пропорциональна коэффициенту отражения реального объекта в данном диапазоне. Цветное изображение сохраняется в формате jpg.

Изображения сохраняются в файлах:

DJI_NNN0 – цветное изображение;

DJI_NNN1 – диапазон *B*;

DJI_NNN2 – диапазон *G*;

DJI_NNN3 – диапазон *R*;

DJI_NNN4 – диапазон *RE*;

DJI_NNN5 – диапазон *NIR*,

где NNN – номер точки съемки.

В программе ImageJ с помощью инструмента *Rectungular* в файлах изображений в различных спектральных диапазонах по меткам противоположных углов делянок выделяли их границы. Для повышения точности используются клавиши масштабирования (+/-). Реальная точность выделения таким способом составляет несколько пикселей. Производили обрезку изображений (*Image\ Crop*) и их сборку в стек (*Image\ Stacks\ Images to Stack*). При несовпадении размеров выделенных областей задавали метод конвертирования изображений в стек *Copy (center).*

Инструмент *Plot Profile* позволяет увидеть картину изменения величины *Mean* вдоль заданной пользователем на изображении траектории. Однако численное определение этой величины по данному графику затруднено (рис. 5).

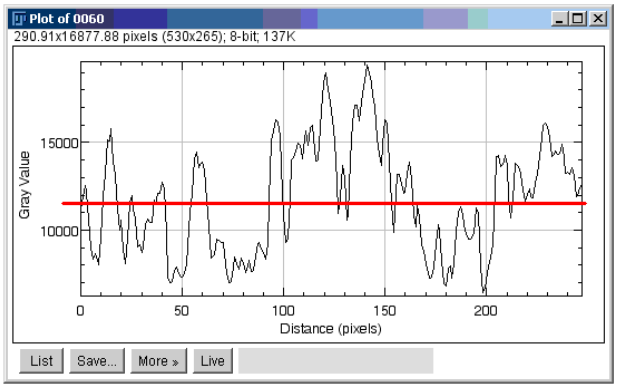


Рис. 5. Определение среднего значения серого по изображению с помощью инструмента *Plot Profile*

Поэтому более удобным является определение величины *Mean* по гистограмме, показывающей количество точек с данным значением этой величины.

Для этого инструментом *Wand* выделяли участки поверхности кроны в *NIR* (как наиболее ярком) спектральном диапазоне (рис. 6).

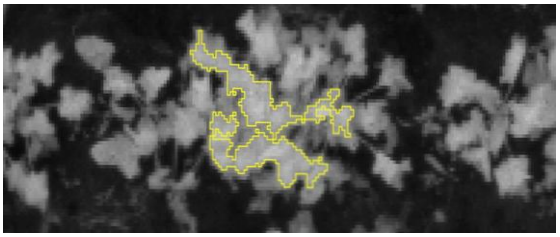


Рис. 6. Выделение участков изображения

Пролистывая изображения в стеке в соответствующих *n*-ых спектральных диапазонах в режиме *Live* считывали значение интенсивности серого ($Mean_n$) из окна *Histogram* (рис. 7).

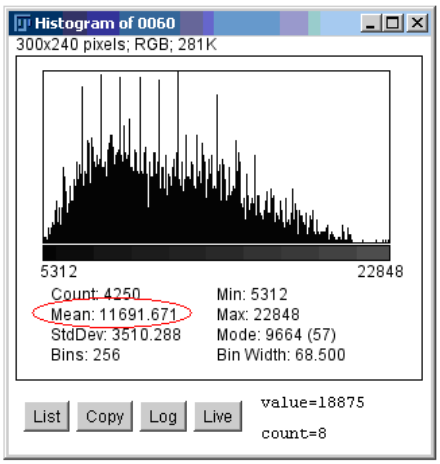


Рис. 7. Определение среднего значения серого по изображению с помощью инструмента *Histogram*

Получаемые значения интенсивности серого пересчитывали в значения коэффициентов отражения в соответствующих спектральных диапазонах по выражению $\rho_n = Mean_n / 65536$ и находили значения мультиспектральных ВИ. Из всего многообразия ВИ, доступных для дистанционного зондирования растительности, в данном исследовании выбраны нормализованный разностный ВИ (*Normalized Difference VI, NDVI*) [30], нормализованный разностный ВИ красного края (*Normalized Difference RE, NDRE*), зеленый нормализованный разностный ВИ (*Green NDVI, GNDVI*) [31], относительный ВИ (*Ratio Vegetation Index, RVI*) [32], зелено-красный ВИ (*Green-Red Vegetation Index, GRVI*) [33].

Обоснованием использования такого набора является тот факт, что они дают спектрально достаточную, не избыточную информацию об оптических свойствах листьев. Эти индексы характеризуют отношения между отражением листьев в отдельных спектральных диапазонах: *NIR, RE, R* и *G*. В красном и зеленом диапазонах отражение зависит от присутствия хлорофиллов, ксантофиллов и каротинов. Ближний инфракрасный спектральный диапазон характеризует внутреннюю структуру листа, палисад и губчатую паренхиму мезофилла.

NDVI принимает для растительности положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}. \quad (1)$$

NDRE служит для определения концентрации азота в листьях путём оценки активности фотосинтеза. Используется главным образом при исследовании старых и находящихся в неудовлетворительном состоянии посевов:

$$NDRE = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RE}}{\rho_{NIR} + \rho_{RE}}. \quad (2)$$

GNDVI аналогичен *NDVI*, но с использованием зелёного канала вместо красного. Характеризует фотосинтетическую активность растений и применяется для поиска насаждений, испытывающих дефицит или переизбыток влаги, также определяются растения других видов (сорняки), находящиеся на территории сельхозугодий:

$$GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_G}{\rho_{NIR} + \rho_G}. \quad (3)$$

RVI принимает значения от нуля до бесконечности. Для зеленой растительности значения *RVI* > 1 и растут с увеличением зеленой фитомассы, сомкнутости растительности (обычно принимают значения 2–8):

$$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R}. \quad (4)$$

GRVI отражает сезонные изменения растительности, служит индикатором ранней фазы позеленения листьев и средней фазы осенних изменений их окраски, демонстрировать четкую реакцию на едва уловимое нарушение в экосистеме:

$$GRVI = \frac{\rho_G - \rho_R}{\rho_G + \rho_R}. \quad (5)$$

Наземные измерения биометрических параметров растений проводили у всех растений на выбранных участках делянок. Из-за неравномерности всходов учет вели на участках сплошного произрастания растений. Для определения урожайности учитывали массу корнеплодов, снятых с одного квадратного метра площади при выборочной уборке.

Диаметры D_1 и D_2 корнеплода в двух взаимно перпендикулярных направлениях и его высоту *H*, см определяли с помощью штангенциркуля с точностью до ±0.1 см (рис.8).

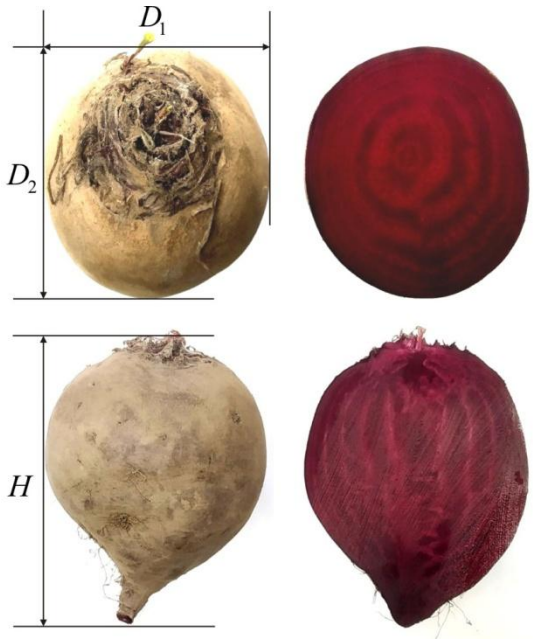


Рис. 8. Измеряемые геометрические размеры корнеплода

Максимальную длину листа из розетки L_{max}, см, определяли с помощью линейки с точностью ±0,5 см. На электронных весах с точностью ±1 г фиксировали массы растения $M_р$, г и корнеплода $M_к$, г. По измеренным значениям находили расчетные показатели:

массу наземной части (листьев) $M_л$, г

$$M_л = M_р - M_к; \quad (6)$$

объем корнеплода *V*, см^3, (в предположении, что его форма соответствует эллипсоиду)

$$V = \frac{1}{6}\pi D_1 D_2 H; \quad (7)$$

плотность корнеплода ρ, г·см^3

$$\rho = \frac{M_к}{V}; \quad (8)$$

отношение массы надземной части растения (*S, Shoot*) к подземной (*R, Root*), отн.ед.

$$SR = \frac{M_л}{M_к}; \quad (9)$$

Средний диаметр $D_{ср}$ корнеплода, см

$$D_{ср} = \frac{D_1 + D_2}{2}; \quad (10)$$

компактность корнеплода ν, отн.ед.

$$\nu = \frac{H}{D_{ср}}. \quad (11)$$

Для каждого варианта опыта было обмеряно порядка 130 растений.

Измерение содержания хлорофилла производили с помощью прибора CCM-200 у средних листьев розетки. На каждой делянке произвели по 40 измерений. Выдаваемый прибором индекс содержания хлорофилла в образце (*Chlorophill Content Index, CCI,* отн.ед.) определяется как отношение коэффициентов пропускания листа на длинах волн 931 нм (зависящей от толщины листа) и 653 нм (зависящей от концентрации хлорофилла).

Математическая обработка полученных данных. Все статистические анализы (p < 0,05) были выполнены с использованием программ Statistica и Excel. Для всех параметров рассчитывали описательную статистику (среднее $\overline{X}$, стандартное отклонение σ, стандартная ошибка среднего $s_{\overline{X}}$, коэффициент вариации K_v, доверительный интервал ΔX). Различие средних определяли с использованием однофакторного дисперсионного анализа (*ANOVA*). Корреляция при значениях коэффициента Спирмана r_S < 0,3 считалась слабой, 0,3 > r_S > 0,5 — умеренной, 0,5 > r_S > 0,7 — заметной, 0,7 > r_S > 0,9 — сильной, и r_S > 0,9 как очень сильной.

Результаты и обсуждение

Несмотря на существенные отклонения зафиксированных погодных условий от среднемноголетних данных, рост и развитие растений свеклы протекали достаточно хорошо, что свидетельствует о высокой устойчивости культуры в этих фазах онтогенеза.

В таблице 1 приведены биометрические параметры растений свеклы. При увеличении дозы азота с нуля до 160 кг·га$^{-1}$ симбатно изменяются масса растения свеклы в целом (на 58%), масса корнеплода (на 49%), масса листьев (на 77%) и количество ботвы, характеризуемое размером максимально длинного листа (на 24%).

Размеры корнеплода (средний диаметр и длина) при увеличении дозы азота значимо увеличиваются (соответственно на 17% и 15%), что приводит к значимому увеличению объема корнеплода (на 33%). При опережающем увеличении массы корнеплода относительного его объема следовало бы ожидать увеличения плотности. Такая тенденция просматривается, но статистически не подтверждается. Возможно, это объясняется отклонением тела корнеплода от сфероида, что приводит к смещению оценки его объема через средний диаметр и высоту.

Соотношение массы надземных и подземных органов *SR* при увеличении дозы азота изменяется незначимо (остается на уровне 0,65…0,71 отн.ед.). Незначимы так же изменения величины компактности корнеплода (1,05…1,10 отн.ед.), характеризующего его пропорции, что вместе с предыдущим показателем свидетельствует о стабильности развития

растения не зависимо от применяемой в эксперименте дозе азота.

Содержание хлорофилла в листьях свеклы при увеличении дозы внесенного азота увеличилось на 9%.

Принятый способ оценки урожайности по выборочной уборки растений с намеченных участков делянок не показал ее значимых отличий в зависимости от дозы азота. Полагаем, что в этом вопросе следует опираться на увеличение массы отдельных растений и констатировать уровень урожайности свеклы на поле 4 кг·м$^{-2}$ при отсутствии удобрения (последействие с предыдущего года) и ее увеличение на 20% при дозе 160 кг·га$^{-1}$.

Таблица 1

Биометрические параметры растений свеклы

Показатель	Доза *N*, кг·га$^{-1}$		
	0	80	160
Масса растения $M_р$, г	378,3±56,1	548,9±63,3	598,3±58,4*
Масса корнеплода $M_к$, г	249,8±41,1	349,8±42,2	371,4±40,8*
Масса листьев $M_л$, г	128,5±19,5	199,1±25,5	226,9±21,7*
Средний диаметр корнеплода $D_{ср}$, см	6,9±0,4	7,9±0,4	8,1±0,3*
Высота корнеплода H, см	7,3±0,4	8,1±0,4	8,4±0,3*
Объем корнеплода V, см^3	241,5±43,5	310,7±38,2	321,1±34,2*
Плотность корнеплода ρ, г·см^3	1,11±0,02	1,14±0,02	1,16±0,03
Компактность ν, отн.ед.	1,10±0,04	1,05±0,04	1,05±0,04
Длина макс. листа L_{max}, *см*	41,0±1,0	49,3±0,9	51,3±1,0*
Соотношение *SR*, отн.ед.	0,65±0,05	0,66±0,04	0,71±0,08
CCI, отн.ед.	19,9±1,1	18,8±1,0	21,6±1,2*
Урожайность, кг·м$^{-2}$	4,0±2,1	3,5±0,3	4,8±1,9

* значимость различий на уровне $p<0.05$

Выявлена очень сильная корреляция между массой растения $M_р$ и массами корнеплода $M_к$ (0.98) и листьев $M_л$ (0.95), средним диаметром $D_{ср}$ (0.97) и объемом V корнеплода (0.98). Сильная корреляция обнаружена между массой корнеплода $M_к$ и его высотой H (0.85), массой листьев $M_л$ (0.89). Заметная корреляция наблюдается между отношением SR и массой растения $M_р$ (-0.52), массой корнеплода $M_к$ (-0.65), высотой корнеплода H (-0.61), его средним диаметром $D_{ср}$ (-0,59) и объемом V (-0.62). Умеренная корреляция наблюдается между длиной листа L_{max} и массой корнеплода $M_к$ (0.48), его средним диаметром $D_{ср}$ (0.47) и объемом V (0.46). Корреляция показателя

компактности корнеплода ν и его плотности ρ с другими показателями слабая.

Средние значения коэффициентов отражения листьев свеклы в отдельных спектральных диапазонах показаны на рис. 9.

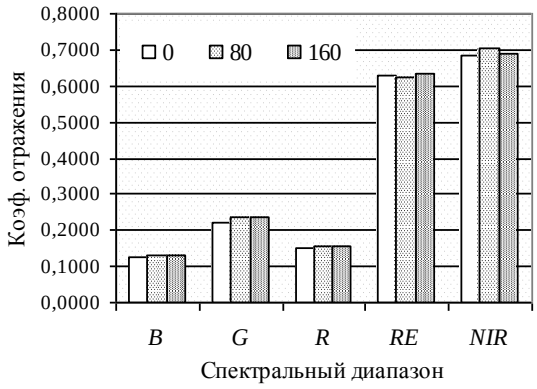


Рис. 9. Средние значения коэффициентов отражения

Показатели описательной статистики коэффициентов отражения в отдельных спектральных диапазонах приведены в таблице 2. Отличия средних значений спектральных коэффициентов отражения для различных доз азота не выявлены. При этом значения коэффициентов вариации, как правило, не превышают 10% что вполне приемлемо для условий полевого эксперимента.

Таблица 2

Показатели описательной статистики коэффициентов отражения

Доза *N*, кг·га$^{-1}$	Показатель	Коэффициент отражения				
		ρ_B	ρ_G	ρ_R	ρ_{RE}	ρ_{NIR}
0	Среднее значение $\overline{X}$, отн.ед.	0,125	0,224	0,152	0,629	0,684
	Доверительный интервал ΔX	0,006	0,017	0,009	0,035	0,028
	Стандартное отклонение σ	0,012	0,032	0,017	0,064	0,051
	Станд. ошибка среднего $s_{\overline{X}}$	0,003	0,008	0,004	0,017	0,013
	Коэффициент вариации K_v, %	9,3	14,2	11,1	10,2	7,5
80	Среднее значение $\overline{X}$, отн.ед.	0,131	0,238	0,155	0,623	0,705
	Доверительный интервал ΔX	0,005	0,013	0,006	0,023	0,025
	Стандартное отклонение σ	0,009	0,024	0,012	0,043	0,046
	Станд. ошибка среднего $s_{\overline{X}}$	0,002	0,006	0,003	0,011	0,012
	Коэффициент вариации K_v, %	7,2	10,0	7,4	6,9	6,5
160	Среднее значение $\overline{X}$, отн.ед.	0,129	0,238	0,155	0,635	0,691
	Доверительный интервал ΔX	0,005	0,015	0,008	0,026	0,025

	Стандартное отклонение σ	0,009	0,028	0,014	0,048	0,046
	Станд. ошибка среднего $s_{\bar{X}}$	0,002	0,007	0,004	0,012	0,012
	Коэффициент вариации K_v, %	7,4	11,9	9,0	7,6	6,6

В силу не значимости различий коэффициентов отражения от дозы внесенного азота, найдены средние значения ВИ для всего органического поля (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения ВИ

NDVI	0,64±0,01
NDRE	0,05±0,01
GNDVI	0,50±0,02
RVI	4,51±0,22
GRVI	0,20±0,02

Известно, что содержание пигментов в листьях является ярким показателем состояния растения. В наших предыдущих исследованиях были выявлены сортовые отличия в содержании пигментов в листьях свеклы [34]. Однако результаты измерений оптической плотности листьев свеклы в отдельных спектральных диапазонах не выявили ее зависимости от вносимых при посадке доз азота [35].

Заключение

Растения являются чувствительными биоиндикаторами и позволяют оценивать состояние экосистемы в целом. Для агроэкосистемы такая оценка может быть проведена по целенаправленно выращиваемой культуре. В работе рассмотрены вопросы применения метода биоиндикации в органическом земледелии, на примере свекольного поля в системе севооборота без применения химических удобрений. Варьируемым фактором на поле являлись дозы азота, вносимого вместе с удобрением «БИАГУМ». Получены биометрические данные растений свеклы на момент уборки, значимо различающиеся для различных доз азота. По результатам мультиспектральной съемки поля с БЛС найдены вегетационные индексы *NDVI, NDRE, GNDVI, RVI* и *GRVI.* Влияние дозы вносимого азота на величины вегетационных индексов не выявлено. Разработанная методика является удобным средством обработки результатов мультиспектральной съемки при биоиндикации агроэкосистемы.

Заявленный вклад соавторов: С.А. Ракутько – научное руководство, концепция исследования; Е.Н. Ракутько – литературный обзор, статистическая обработка, А.П. Мишанов – полевой эксперимент, первичные данные; А.Е. Маркова – консультации и обсуждение; Е.А. Мурзаев – мультиспектральная съемка.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Debangshi U. Drones - Applications in Agriculture. *Chronicle of Bioresource Management*. 2021. Vol. 5(3), pp. 115-120. DOI:10.5281/zenodo.5554734

2. Pathak H., Igathinathane C., Zhang Z., Archer D., Hendrickson J. A review of unmanned aerial vehicle-based methods for plant stand count evaluation in row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. No. 198. 107064. DOI:10.1016/j.compag.2022.107064

3. Plaza J., Sánchez N., García-Ariza C., Pérez-Sánchez R., Charfolé F., Caminero-Saldaña C. Classification of airborne multispectral imagery to quantify common vole impacts on an agricultural field. *Pest management science*, 2022. Vol. 78(6), pp. 2316-2323. DOI:10.1002/ps.6857

4. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Цзянь Су., Ян Ма. Методы биоиндикационной оценки состояния агроэкосистем: аналитический обзор // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 1 (110). С. 19-42. DOI:10.24412/2713-2641-2022-1110-19-42

5. Ракутько С.А., Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Применение морфо-цветометрического анализа в биоиндикации экосистем // *Известия НВ АУК*. 2022. № 3(67). С. 445-458. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-51.

6. Deng L., Mao Z., Li X., Hu Z., Duan F., Yan Y. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. 2018. No. 146, pp. 124-136. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008

7. Hassan M. A., Yang M., Rasheed A. et all. A Rapid Monitoring of NDVI Across the Wheat Growth Cycle for Grain Yield Prediction Using a Multi-Spectral UAV Platform. *Plant Science*. 2019. Vol. 282, pp. 95-103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022.

8. Azalarib S.A., Hallett S., Brewer T. R. Using vegetation indices for the estimation and production of vegetation cover maps in the Jeffara Plain, Libya. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT).* 2018. Vol. 12, Issue 2, Ver. I, pp 23-28. DOI: 10.9790/2402-1202012328

9. Kamenova I., Filchev L. Ilieva I. Review of spectral vegetation indices and methods for estimation of crop biophysical variables. *Aerospace Research in Bulgaria*. 2017. Vol. 29, pp. 72-82. DOI: 10.7546/AeReBu.29.18.01.06

10. Wang L., Zhou X., Zhu X. et all. Estimation of Biomass in Wheat Using Random Forest Regression Algorithm and Remote Sensing Data. *The Crop Journal*, 2016. Vol.4 (3), pp. 212-219. DOI: 10.1016/j.cj.2016.01.008.

11. Amorim J.G.A, Schreiber L.V., de Souza M.R. et all. Biomass estimation of spring wheat with machine learning methods using UAV-based multispectral imaging. *International Journal of Remote Sensing.* 2022. Vol. 43(13), pp. 1-16. DOI: 10.1080/01431161.2022.2107882

12. Gontia N.K., Tiwari, K.N. Yield estimation model and water productivity of wheat crop (*Triticum aestivum*) in an irrigation command using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2011. Vol. 39(1), pp. 27-37 DOI: 10.1007/s12524-011-0065-7

13. Li B., Xu X., Zhang L. et all. Above-Ground Biomass Estimation and Yield Prediction in Potato by Using UAV-Based RGB and Hyperspectral Imaging. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* 2020. Vol. 162, pp. 161-172. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.013.

14. Stoyanova M., Kandilarov A., Koutev V., Nitcheva O., Dobreva P. Unmanned drone multispectral imaging for assessment of wheat and oilseed rape habitus. *Bulg. J. Agric. Sci.,* 2021. Vol. 27 (5), pp. 875-879. https://agrojournal.org/27/05-07.pdf

15. Szopinska A. A., Gaweda M. Comparison of yield and quality of red beet roots cultivated using conventional, integrated and organic method. *Journal of Horticultural Research*, 2013. Vol. 21, No. 1, pp. 107-114. DOI: 10.2478/johr-2013-0015

16. Freckleton R. P., Watkinson A. R., Webb D. J., Thomas T. H. Yield of beetroot in relation to weather and nutrients. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999. Vol. 93 (1), pp. 39-51. DOI: 10.1016/S0168-1923(98)00106-3.

17. Fageria N. K. Nitrogen harvest index and its association with crop yields. *Journal of Plant Nutrition*, 2014. Vol. 37(6), pp. 795-810. DOI: 10.1080/01904167.2014.881855

18. Salfina S. M., Martin M. M., Puffy S., Dharini S. Nitrogen application and leaf harvesting improves yield and nutritional quality of beetroot. *American Society for horticultural Science*, 2017. Vol. 27, No. 3, pp. 337-347. DOI: 10.21273/HORTTECH03599-16

19. Petek M., Custic M. H., Tath N., Slunjki S. Nitrogen and crude proteins in beetroot (*Beta vulgaris var. conditiva*) under different fertilization treatments. *Notulae Botanicae Hortiagrobotanici Cluj-Napoca*, 2012. Vol. 40 (2), pp. 215-219. DOI: 10.15835/nbha4027457

20. Najm A. A., Hadi S., Darzi M. T., Hadi M.H. Influence of nitrogen fertilizer and cattle manure on the vegetative growth and tuber production of potato. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2013. Vol. 5, pp. 147-154. https://www.researchgate.net/publication/280114073

21. Sarhan H. M., Abdou M. A. E., Al-Sayed H. M. Effect of planting systems, plant density and nitrogen fertilizer levels on productivity and quality of sugar beet. *Journal of Plant Production*, 2012. Vol. 3, No. 10, pp. 2567-2580. DOI: 10.21608/jpp.2012.85003

22. Seadh S. E. Maximizing sugar beet yields with decreasing mineral fertilization pollution. *International Journal of Agricultural Sciences*. 2012. Vol. 4, No. 7, pp. 293-298. https://bioinfopublication.org/files/articles/4_7_4_IJAS.pdf

23. Sinta Z., Garo G. Influence of Plant Density and Nitrogen Fertilizer Rates on Yield and Yield Components of Beetroot (*Beta vulgaris L.), International Journal of Agronomy*, 2021. Vol. 2021, 6670243. DOI: 10.1155/2021/6670243

24. Amin G. A., Elham A. B., Badr A., Afifi M. H. M. Root yield and quality of sugar beet (*Beta Vulgaris L.*) in response to biofertilizer and foliar application with micronutrients. *World Applied Sciences Journal*, 2013. Vol. 27, No. 11, pp. 1385-1389. 10.5829/idosi.wasj.2013.27.11.13732

25. Mikkelsen R., Hartz T. K. Nitrogen sources for organic crop production. *Better Crops with Plant Food*, 2008. Vol. 92, No. 4, pp. 16-19. https://www.researchgate.net/publication/284245212.

26. Папушин Э.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Матейчик С.Н. Интеллектуальные аналитические программные платформы для сельскохозяйственного производства // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. №1(110). С. 52-65. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-52-64

27. Курбанов Р. К., Литвинов М. А., Фокин А. М., Программное обеспечение для обработки мультиспектральных данных и оцифровки полей // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт.* 2021. №11. С. 3-6.

28. Свекла столовая «Двусемянная ТСХА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://leplants.ru/veta-vulgaris-var-vulgaris-dvusemyannaya-tsha/(дата обращения 27.11.2022).

29. Sokolova D.V., Shvachko N.A., Mikhailova A.S., Popov V.S. Betalain Content and Morphological Characteristics of Table Beet Accessions: Their Interplay with Abiotic Factors. *Agronomy*, 2022. Vol.12, No. 5, 1033. DOI: 10.3390/agronomy12051033

30. Rouse J., Haas R. H., Deering D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: *Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp*., 1974. Vol. 1, Sect. A., pp. 309-315

31. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 1996. Vol. 58 (3), pp. 289-298. DOI: 10. 1016/s0034-4257(96)00072-7.

32. Tucker C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979. Vol. 8 (2), pp. 127-150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.

33. Motohka T., Nasahara K., Hiroyuki O., Satoshi T. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*. 2010. Vol. 2(10). DOI: 10.3390/rs2102369

34. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н., Су Ц. Опыт применения фрактального анализа при биоиндикации агроэкосистем на примере листьев свеклы (*Beta Vulgaris L.*) // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 2 (111). С. 42-61. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-2111-42-60

35. Ракутько С.А. Мишанов А.П., Ракутько Е.Н., Маркова А.Е. Биоиндикационная оценка состояния агроэкосистемы при выращивании столовой свеклы (*Beta Vulgaris L.*) // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 3 (112). С. 4-24.

REFERENCES

1. Debangshi U. Drones - Applications in Agriculture. *Chronicle of Bioresource Management*. 2021. Vol. 5(3): 115-120. DOI: 10.5281/zenodo.5554734

2. Pathak H., Igathinathane C., Zhang Z., Archer D., Hendrickson J. A review of unmanned aerial vehicle-based methods for plant stand count evaluation in row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. No. 198, 107064. DOI:/10.1016/j.compag.2022.107064

3. Plaza J., Sánchez N., García-Ariza C., Pérez-Sánchez R., Charfolé F., Caminero-Saldaña C. Classification of airborne multispectral imagery to quantify common vole impacts on an agricultural field. *Pest management science*, 2022. Vol. 78(6): 2316-2323. DOI: 10.1002/ps.6857

4. Rakutko E.N., Rakutko S.A., Jian Su, Yang Ma. Metody bioindikatsionnoi otsenki sostoyaniya agroekosistem: analiticheskii obzor [Bioindication methods for the agroecosystems assessment: a review]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 1 (110): 19-4. (In Russian) DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-19-42

5. Rakutko S.A., Vaskin A.N., Rakutko E.N. Primenenie morfo-tsvetometricheskogo analiza v bioindikatsii ekosistem [Application of morpho-colormetric analysis in the bioindication of ecosystems]. *Izvestiya NV AUK*. 2022. No. 3(67): 445-458 (In Russian) DOI:10.32786/2071-9485-2022-03-51.

6. Deng L., Mao Z., Li X., Hu Z., Duan F., Yan Y. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. 2018. No. 146: 124-136. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008

7. Hassan M. A., Yang M., Rasheed A. et all. A Rapid Monitoring of NDVI Across the Wheat Growth Cycle for Grain Yield Prediction Using a Multi-Spectral UAV Platform. *Plant Science*. 2019. Vol. 282: 95-103. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.10.022.

8. Azalarib S.A., Hallett S., Brewer T. R. Using vegetation indices for the estimation and production of vegetation cover maps in the Jeffara Plain, Libya. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT).* 2018. Vol. 12, Issue 2, Ver. I: 23-28. DOI: 10.9790/2402-1202012328

9. Kamenova I., Filchev L. Ilieva I. Review of spectral vegetation indices and methods for estimation of crop biophysical variables. *Aerospace Research in Bulgaria*. 2017. Vol. 29: 72-82. DOI: 10.7546/AeReBu.29.18.01.06

10. Wang L., Zhou X., Zhu X. et all. Estimation of Biomass in Wheat Using Random Forest Regression Algorithm and Remote Sensing Data. *The Crop Journal*, 2016. Vol.4 (3): 212-219. DOI: 10.1016/j.cj.2016.01.008.

11. Amorim J.G.A, Schreiber L.V., de Souza M.R. et all. Biomass estimation of spring wheat with machine learning methods using UAV-based multispectral imaging. *International Journal of Remote Sensing.* 2022. Vol. 43(13): 1-16. DOI: 10.1080/01431161.2022.2107882

12. Gontia N.K., Tiwari, K.N. Yield estimation model and water productivity of wheat crop (*Triticum aestivum*) in an irrigation command using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2011. Vol. 39(1): 27-37 DOI: 10.1007/s12524-011-0065-7

13. Li B., Xu X., Zhang L. et all. Above-Ground Biomass Estimation and Yield Prediction in Potato by Using UAV-Based RGB and Hyperspectral Imaging. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* 2020. Vol. 162: 161-172. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.013.

14. Stoyanova M., Kandilarov A., Koutev V., Nitcheva O., Dobreva P. Unmanned drone multispectral imaging for assessment of wheat and oilseed rape habitus. *Bulg. J. Agric. Sci.,* 2021. Vol. 27 (5): 875-879. https://agrojournal.org/27/05-07.pdf

15. Szopinska A. A., Gaweda M. Comparison of yield and quality of red beet roots cultivated using conventional, integrated and organic method. *Journal of Horticultural Research*, 2013. Vol. 21, No. 1: 107-114. DOI: 10.2478/johr-2013-0015

16. Freckleton R. P., Watkinson A. R., Webb D. J., Thomas T. H. Yield of beetroot in relation to weather and nutrients. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999. Vol. 93 (1): 39-51. DOI: 10.1016/S0168-1923(98)00106-3.

17. Fageria N. K. Nitrogen harvest index and its association with crop yields. *Journal of Plant Nutrition,* 2014. Vol. 37(6): 795-810. DOI: 10.1080/01904167.2014.881855

18. Salfina S. M., Martin M. M., Puffy S., Dharini S. Nitrogen application and leaf harvesting improves yield and nutritional quality of beetroot. *American Society for horticultural Science*, 2017. Vol. 27, No. 3: 337-347. DOI: 10.21273/HORTTECH03599-16

19. Petek M., Custic M. H., Tath N., Slunjki S. Nitrogen and crude proteins in beetroot (*Beta vulgaris var. conditiva*) under different fertilization treatments. *Notulae Botanicae Hortiagrobotanici Cluj-Napoca*, 2012. Vol. 40 (2): 215-219. DOI: 10.15835/nbha4027457

20. Najm A. A., Hadi S., Darzi M. T., Hadi M.H. Influence of nitrogen fertilizer and cattle manure on the vegetative growth and tuber production of potato. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2013. Vol. 5: 147-154. https://www.researchgate.net/publication/280114073

21. Sarhan H. M., Abdou M. A. E., Al-Sayed H. M. Effect of planting systems, plant density and nitrogen fertilizer levels on productivity and quality of sugar beet. *Journal of Plant Production*, 2012. Vol. 3, No. 10: 2567-2580. DOI: 10.21608/jpp.2012.85003

22. Seadh S. E. Maximizing sugar beet yields with decreasing mineral fertilization pollution. *International Journal of Agricultural Sciences*. 2012. Vol. 4, No. 7: 293-298. https://bioinfopublication.org/files/articles/4_7_4_IJAS.pdf

23. Sinta Z., Garo G. Influence of Plant Density and Nitrogen Fertilizer Rates on Yield and Yield Components of Beetroot (*Beta vulgaris L.), International Journal of Agronomy*, 2021. Vol. 2021, 6670243. DOI: 10.1155/2021/6670243

24. Amin G. A., Elham A. B., Badr A., Afifi M. H. M. Root yield and quality of sugar beet (*Beta Vulgaris L*.) in response to biofertilizer and foliar application with micronutrients. *World Applied Sciences Journal*, 2013. Vol. 27, No. 11: 1385-1389. 10.5829/idosi.wasj.2013.27.11.13732

25. Mikkelsen R., Hartz T. K. Nitrogen sources for organic crop production. *Better Crops with Plant Food*, 2008. Vol. 92, No. 4: 16-19. https://www.researchgate.net/publication/284245212.

26 Papushin E.A., Vasilev E.V., Shalavina E.V., Mateichik S.N. Intellektual'nye analiticheskie programmnye platformy dlya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Intelligent analytical software platforms for agricultural production]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No.1(110): 52-65 (In Russian) DOI:10.24412/2713-2641-2022-1110-52-64

27. Kurbanov R. K., Litvinov M. A., Fokin A. M., Programmnoe obespechenie dlya obrabotki mul'tispektral'nykh dannykh i otsifrovki polei [Software for processing multispectral data and field digitization]. *Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2021. No.11: 3-6 (In Russian)

28. Svekla stolovaya «Dvusemyannaya TSKhA» [Table beet of Dvusemyannaya TSKhA cultivar]. Available at: https://leplants.ru/veta-vulgaris-var-vulgaris-dvusemyannaya-tsha/ (accessed 27.11.2022) (In Russian)

29. Sokolova D.V., Shvachko N.A., Mikhailova A.S., Popov V.S. Betalain Content and Morphological Characteristics of Table Beet Accessions: Their Interplay with Abiotic Factors. *Agronomy*, 2022. Vol.12, No. 5, 1033. (In English) DOI: 10.3390/agronomy12051033

30. Rouse J., Haas R. H., Deering D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: *Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp*., 1974. Vol. 1, Sect. A.: 309-315

31. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 1996. Vol. 58 (3): 289-298. DOI: 10. 1016/s0034-4257(96)00072-7.

32. Tucker C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979. Vol. 8 (2): 127-150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0.

33. Motohka T., Nasahara K., Hiroyuki O., Satoshi T. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*. 2010. Vol. 2(10). DOI: 10.3390/rs2102369

34. Rakutko E.N., Rakutko S.A., Vaskin A.N., Su Jian. Opyt primeneniya fraktal'nogo analiza pri bioindikatsii agroekosistem na primere list'ev svekly (*Beta vulgaris L.*) [Experience with fractal analysis in bioindication of agroecosystems on the example of beet leaves (*Beta Vulgaris L.)*]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2 (111): 42-61. (In Russian)DOI: 10.24412/2713-2641-2022-2111-42-60

35. Rakutko S.A. Mishanov A.P., Rakutko E.N., Markova A.E. Bioindikatsionnaya otsenka sostoyaniya agroekosistemy pri vyrashchivanii stolovoi svekly (*Beta Vulgaris L.*) [Bioindication assessment of the agroecosystem status in table beet (*Beta Vulgaris L.*) growing]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 3 (112): 4-24 (In Russian)

УДК 636.2 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-36-50

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ТЕРРИТОРИИ НА МАКРОУРОВНЕ

Васильев Э.В., канд. техн. наук Шалавина Е.В., канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

В целом по Российской Федерации 350 миллионов тонн органических отходов ежегодно остаются непереработанными и загрязняют атмосферный воздух, почву и водные объекты. За счет неэффективного использования органических отходов животноводства и птицеводства потери питательных веществ составляют по азоту – 2,2 млн. т/год; по фосфору – 0,36 млн. т/год. Мировой опыт показывает, что для мега комплексов, территорий с высокой концентрацией животных и расположенных вблизи крупных городов целесообразно рассматривать создание агротехнопарков для переработки органических отходов в высокоэффективные органические удобрения. Цель исследования – обосновать порядок

сбора исходных данных для проведения расчетов и оценки экологической ситуации территории при обращении с органическими побочными продуктами животноводства и птицеводства на макроуровне. При оценке интенсивности животноводства и птицеводства в округах Российской Федерации использованы данные Федеральной службы государственной статистики. Расчеты выполнены по общеизвестным методикам. Анализ данных в целом по Российской Федерации показал, что в каждом федеральном округе кроме Северо-Западного округа, включающего Ленинградскую область, наблюдается дефицит питательных веществ в почве из-за выноса их с урожаем сельскохозяйственных культур и, соответственно, потребность в дополнительном органическом удобрении. Например, в Центральном федеральном округе потребность в органических удобрениях составляет 40,4 млн. тонн при дефиците 0,2 млн. тонн азота. В Южном федеральном округе потребность в органических удобрениях составляет 141,8 млн. тонн при дефиците 0,7 млн. тонн азота. В Приволжском федеральном округе потребность в органических удобрениях составляет 199,6 млн. тонн при дефиците 0,99 млн. тонн азота. Получаемые в агротехнопарке высокоэффективные органические удобрения являются ценным ресурсом для соседствующих с СЗФО регионов.

Ключевые слова: агротехнопарк, навоз, помет, исходные данные, порядок сбора**,** потребность в питательных веществах.

Для цитирования: Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Алгоритм оценки экологической ситуации территории на макроуровне // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С.36-50

ALGORITHM FOR A MACRO LEVEL ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL SITUATION OF A TERRITORY

E.V. Vasilev, Cand. Sc. (Engineering), E.V. Shalavina, Cand. Sc. (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia.

In the Russian Federation as a whole, every year 350 million tons of organic waste remain unprocessed and pollute the atmospheric air, soil and water bodies. The inefficient use of organic waste from livestock and poultry farming contributes to the loss of 2.2 million tons N / year and 0.36 million tons P / year. According to the world experience, the mega livestock complexes, territories with a high livestock density and those located near large cities need creating an integrated structure such as an agrotechnopark for processing the organic waste into effective organic fertilizers. The study aimed to develop an algorithm for collecting the initial data to be used in calculations and assessment of the environmental situation on the territory when handling organic by-products of livestock and poultry farming at the macro level. The intensity of livestock and poultry farming in the districts of the Russian Federation was estimated by the data from the Federal State Statistics Service. The calculations were performed according to common methods. The data analysis of the country as a whole showed that every federal district suffered a shortage of soil nutrients due to their removal with the crops and so they required extra organic fertilization. The only exception was the North-Western Federal District, the Leningrad Region included. The Central Federal District needed 40.4 million tons of organic

fertilizers, with a deficit of nitrogen being 0.2 million tons. The Southern Federal District needed 141.8 million tons of organic fertilizers, with a deficit of nitrogen being 0.7 million tons. The Volga Federal District needed 199.6 million tons of organic fertilizers, with a deficit of nitrogen being 0.99 million tons. This way, the high-performance organic fertilizers produced in the agrotechnopark might be a valuable resource for the neighbouring regions of the North-West Federal District.

Key words: agrotechnopark, animal manure, poultry manure, initial data, data collection procedure, nutrient requirement.

For citation: Vasilev E. V., Shalavina E.V. Algorithm for a macro level assessment of the environmental situation of a territory. *AgroEcoEngineeriya*. 2022. No. 4(113): 36-50. (In Russian)

Введение

В соответствии с Федеральным законом от 28.06.2021 г. № 221-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», не признаются агрохимикатами торф, отходы животноводства и растениеводства, ил, осадки сточных вод, используемые для производства органических и органоминеральных удобрений, смешанные минеральные удобрения. 28 июня 2022 года принят Федеральный закон «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №248-ФЗ, в котором прописан порядок обращения с навозом и пометом. Образуемый на предприятиях навоз и помет, должен быть переработан в органическое удобрение, соответствующее ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия». Полученное органическое удобрение должно быть внесено в агротехнические сроки на земельные угодья сельскохозяйственного назначения.

В целом по Российской Федерации за год из образуемых 600 миллионов тонн органических отходов животноводства и птицеводства (навоз и помет) только 250 миллионов тонн вносится на земельные угодья сельскохозяйственного назначения [1-2]. То есть порядка 350 миллионов тонн органических отходов ежегодно остается непереработанными и загрязняют атмосферный воздух, почву и водные объекты [3-4]. За счет неэффективного использования органических отходов животноводства и птицеводства потери питательных веществ составляют по азоту – 2,2 млн. т/год; по фосфору – 0,36 млн. т/год.

Основные причины неудовлетворительной работы с органическим удобрениями:

– интенсификация отрасли и создание мегакрупных животноводческих ферм;

– недостаточная координация в области технико-технологической политики и отсутствие материальных стимулов для освоения технологий подготовки и использования органических удобрений;

– высокая стоимость модернизации производства и освоения современных методов;

– недостаточность машинно-тракторного парка. В целом по Российской Федерации потребность в машинах для транспортировки органических удобрений составляет около 22400 единиц.

Особенно остро вопрос обращения с органическими отходами стоит в Ленинградской области, которая является одним из лидеров в Российской Федерации по животноводству и птицеводству. Ежегодно в Ленинградской области образуется порядка 4800 тыс. тонн навоза и помета, что в пересчете на действующее вещество составляет в год не менее 21000 тонн по общему азоту и не менее 5200 тонн по общему фосфору [5-6]. По стоимости минеральных удобрений это соответствует 1 млрд. рублей. Особо сложная ситуация складывается вокруг крупных птицефабрик на которых образуется большое количество помета на ограниченной территории (на примере двух птицефабрик Ленинградской области: ежедневно образуется более 1000 т помета). В виду природно-климатических и производственных особенностей, обычно птицефабрики не имеют достаточно полей для применения всего образуемого помета в виде органических удобрений [7].

Обследование предприятий показало, что более 50% навозохранилищ для переработки навоза и помета в органическое удобрение требует модернизации. При этом из образуемых за год 4,8 млн. тонн органических отходов используется только 1,8 млн. тонн. Порядка 37% всех органических отходов не используется и загрязняет окружающую среду. Потребность в технике для внесения органических удобрений по Ленинградской области составляет не менее 400 единиц [8].

Мировой опыт показывает, что для мега комплексов и территорий с высокой концентрацией животных и вблизи крупных городов целесообразно рассматривать агротехнопарки переработки органических отходов в высокоэффективные органоминеральные микробиологические удобрения, позволяющие производить высококачественные комплексные удобрения и поставлять их в регионы с острой потребностью [9-12]. Ленинградская область является регионом с высокой концентрацией поголовья, расположенной вблизи крупных городов стратегического назначения, а также является территорией водосбора Балтийского моря и частных водосборов Ладожского озера, р. Нева, р. Луга и т.д. С учетом вышеизложенного ориентир на создание агротехнопарка заложен именно с Ленинградской области.

Цель работы: обосновать порядок сбора исходных данных для проведения расчетов и оценки экологической ситуации территории при обращении с органическими побочными продуктами животноводства и птицеводства на макроуровне.

Задачи:

– разработать порядок сбора исходных данных для оценки экологической ситуации территории на макроуровне;

– определить объемы и характеристики навоза/помета в Ленинградской области;

– выявить в Ленинградской области территории (регионы) поставщиков сырья для создания агротехнопарков;

– выявить в Российской Федерации территории (регионы) потребителей получаемого на агротехнопарке органического удобрения, обосновать направления реализации удобрений.

Материал и методы

Инфограмма порядка оценки территории на макроуровне представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Инфограмма порядка оценки территории на макроуровне

На первом этапе осуществляется сбор статистической информации. При оценке интенсивности животноводства и птицеводства в федеральных округах РФ использованы данные Федеральной службы государственной статистики [13]. При анализе учтены следующие категории хозяйств: сельскохозяйственные организации, крестьянско-фермерские хозяйства (КФХ), индивидуальные предприниматели (ИП), хозяйства населения (ХН), хозяйства всех категорий. При анализе предприятия разделены на 2 группы: сельскохозяйственные организации и остальные (КФХ, ИП, ХН). Оценены следующие группы животных: крупный рогатый скот (КРС), свиньи и птица.

На втором этапе осуществляется расчет данных на основании полученной статистической информации.

При расчетах используются общепринятые методики и модели. Для расчета показателя условные головы на гектар поголовье КРС, свиней и птицы было переведено в условные головы в соответствии с методикой Евростата [14]. Площади земельных угодий взяты с сайта Федеральной службы государственной статистики.

При расчете массы образуемого навоза и помета использована Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета, разработанная в 2014 году в ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Данные по содержанию общего азота и

фосфора в органическом удобрении получены на основе обработки протоколов анализов органических удобрений, проводимых в аналитической лаборатории ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ за последние 20 лет для разного типа животноводческих и птицеводческих предприятий. Ограничение по внесению общего азота и фосфора взяты 170 кг/га и 25 кг/га соответственно в соответствии с Хельсинской конвенцией. Данные по количеству применяемого минерального удобрения в федеральных округах РФ взяты с сайта Федеральной службы государственной статистики.

Для каждого федерального округа РФ проведен расчет необходимого количества питательных веществ (общего азота) с учетом возделываемых в регионах сельскохозяйственных культур. Проанализированы следующие сельскохозяйственные культуры: 1) зерновые и зернобобовые культуры; 2) картофель и овощебахчевые культуры; 3) многолетние беспокровные травы посева текущего года, включая посев осени прошлого года; 4) однолетние травы. Для каждого вида культур на основании статистических данных по площадям земельных угодий рассчитано требуемое для внесения в почву количество общего азота, поступаемого с удобрением. Необходимость в питательных веществах определялась как разность между требуемым к внесению в почву количеством питательных веществ (расчетное значение) и вносимым в почву количеством питательных веществ (расчетное значение с учетом органических и минеральных удобрений).

На третьем этапе осуществлялось сопоставление полученных в результате расчетов данных с информацией из научных статей и данными, полученными в результате экспериментальных исследований, проводимых в ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ за последние 15 лет.

На четвертом этапе проводилась экологическая оценка территории на макроуровне на основании трёх показателей [15]:

– количество условных голов на гектар земельных угодий сельскохозяйственного назначения;

– баланс питательных веществ (общий азот и фосфор) на макроуровне;

– потребность почв в общем азоте с учетом выноса с сельскохозяйственных культур.

Обработка данных осуществлялась в программе Excel.

Результаты и обсуждение

Проанализировано поголовье КРС, свиней и птицы по федеральным округам Российской Федерации (рис. 2-4).

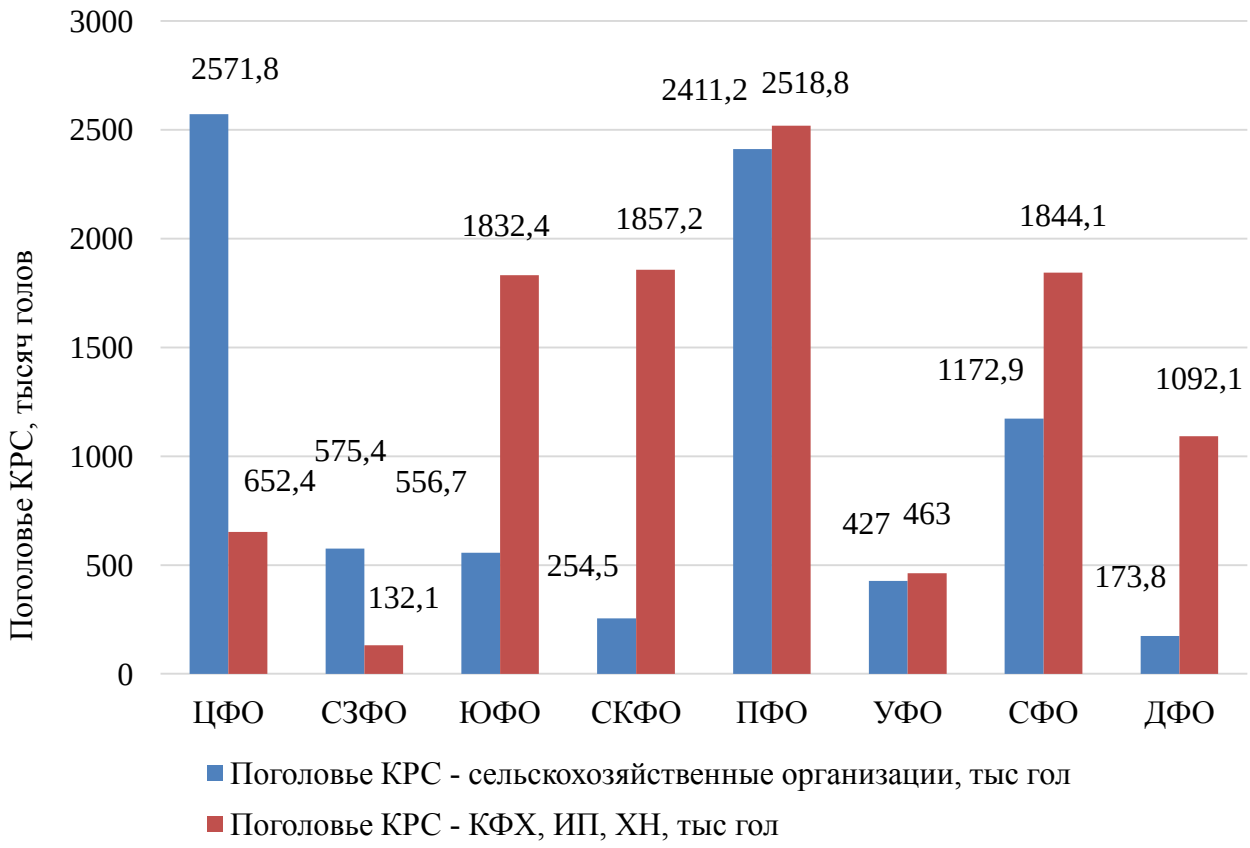


Рис. 2. Поголовье КРС по федеральным округам РФ – статистические данные

Наибольшее поголовье КРС в хозяйствах всех категорий наблюдается в Приволжском федеральном округе (ПФО) (4930 тысяч голов). Второе место по поголовью занимает Центральный федеральный округ (ЦФО) (3224,2 тысячи голов) и третье место Сибирский федеральный округ (СФО) (3017 тысяч голов).

В Центральном федеральном округе 75% всего поголовья КРС сосредоточено в сельскохозяйственных организациях (2571,8 тысяч голов по отношению к 652,4 тысяч голов), а в Приволжском и Уральском федеральных округах (УФО) большая часть поголовья сосредоточена в КФХ, ИП и ХН. В Приволжском федеральном округе соотношения поголовья находится в одних пределах: 2411,2 тысячи голов в сельскохозяйственных организациях, 2518,8 тысяч голов в КФХ, ИП и ХН. В Южном федеральном округе (ЮФО) больше 70% поголовья сосредоточено в КФХ, ИН и ХН: 1832,4 тысячи голов по отношению к 556,7 тысяч голов.

В целом по Российской Федерации по статистическим данным только в 2-х федеральных округах поголовье КРС в сельскохозяйственных организациях превышает поголовье КРС в КФХ, ИП и ХН – это в Центральном и Северо-Западном федеральных округах (СЗФО).

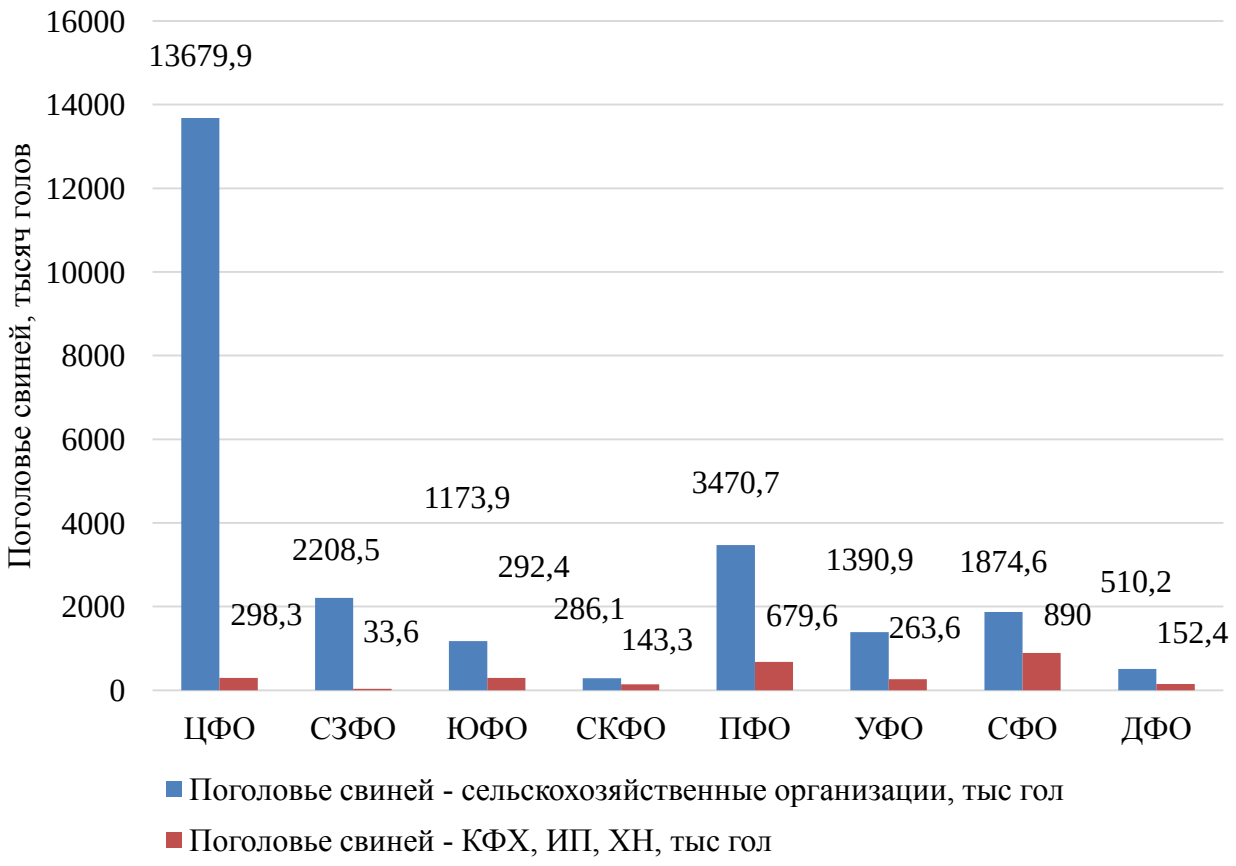


Рис. 3. Поголовье свиней по федеральным округам РФ – статистические данные

По поголовью свиней в хозяйствах всех категорий в РФ лидером является Центральный федеральный округ (13978,2 тысячи голов). Второе место занимает Приволжский федеральный округ – 4105 тысяч голов, третье место – Сибирский федеральный округ – 2764,6 тысяч голов. Четвертое место занимает Северо-Западный федеральный округ – 2242,1 тысяч голов.

Поголовье свиней в лидирующих федеральных округах сосредоточено в сельскохозяйственных организациях: в Центральном федеральном округе 97% всего поголовья, в Приволжском федеральном округе – 83% всего поголовья, в Сибирском федеральном округе – 67,8% всего поголовья. При этом по доле поголовья свиней в сельскохозяйственных организациях первое место занимает Северо-Западный федеральный округ – 98,5% всего поголовья (2208,5 тысяч голов по отношению к 33,6 тысяч голов). Наибольшее поголовье свиней в сельскохозяйственных организациях сосредоточено в Центральном федеральном округе (13679,9 тысяч голов) и Приволжском федеральном округе (3470,7 тысяч голов).

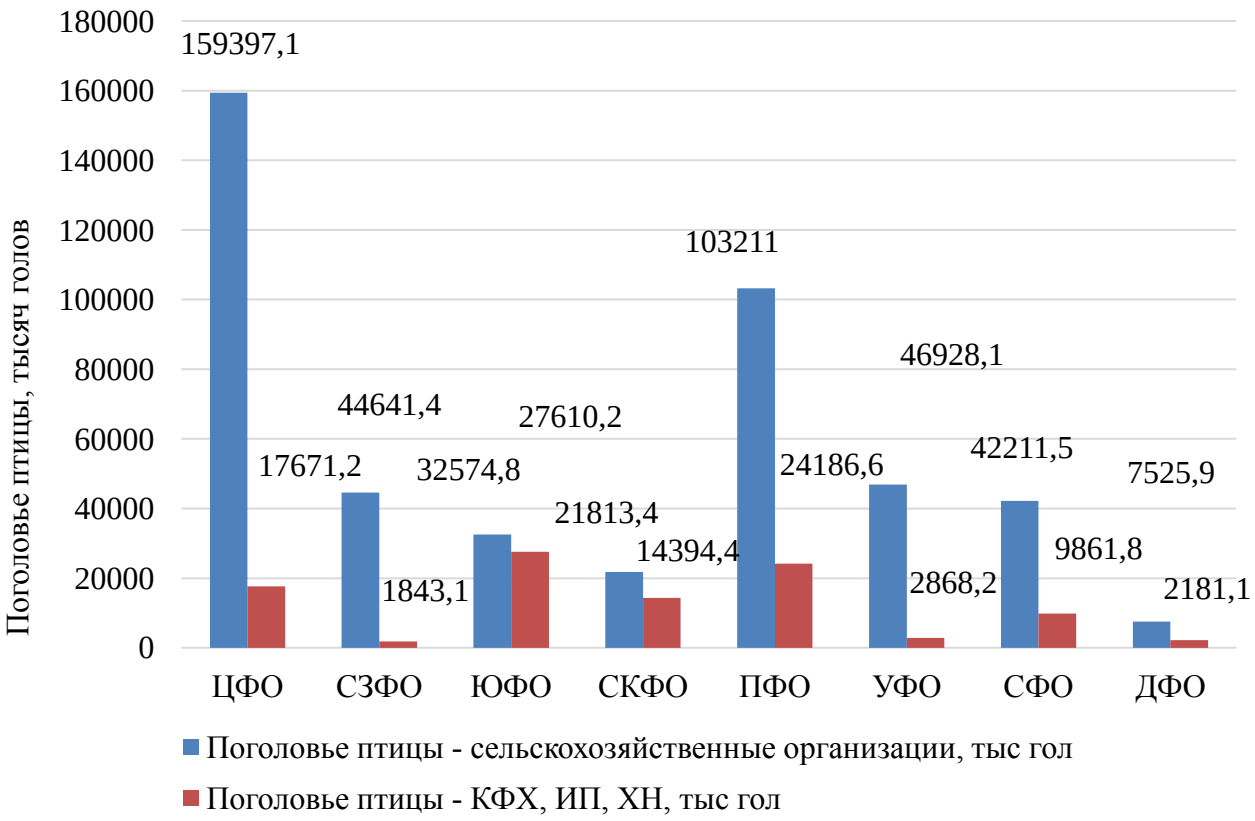


Рис. 4. Поголовье птицы по федеральным округам РФ – статистические данные

По поголовью птицы в хозяйствах всех категорий лидерами выступают Центральный федеральный округ – 177068,3 тысячи голов и Приволжский федеральный округ – 127397,6 тысячи голов. Третье место занимает Южный федеральный округ – 60185 тысяч голов.

Во всех федеральных округах РФ большинство поголовья птицы сосредоточено в сельскохозяйственных организациях. Лидеры по сосредоточению поголовья птицы в сельскохозяйственных организациях являются: Северо-Западный федеральный округ (96% всего поголовья), Уральский федеральный округ (94% всего поголовья), Центральный федеральный округ (90% всего поголовья). Наибольшее поголовье птицы в сельскохозяйственных организациях сосредоточено в Центральном федеральном округе (159397,1 тысяч голов) и Приволжском федеральном округе (103211 тысяч голов).

Интенсификация животноводства и птицеводства должна развиваться параллельно с увеличением задействованных площадей земельных угодий сельскохозяйственного назначения. Возрастающий объем твердых и жидкий органических удобрений на основе навоза и помета должен вноситься на земельные угодья сельскохозяйственного назначения, только тогда сельская территория будет экологически устойчивой. Одним из комплексных показателей, экологически устойчивого состояния сельских территорий является количество условных голов на единицу площади посевных культур (рисунок 5).

Если посмотреть распределение условных голов на гектар по хозяйствам всех категорий, то лидирующее место занимает Северо-Западный федеральный округ, в котором это значение достигает 1,4 условных голов на гектар, при допустимой верхней

границе по поголовью, принятой Хельсинской конвенцией, в 1,5 условных голов на гектар.

При оценке устойчивости территорий с точки зрения всех типов хозяйств региона, то по сельскохозяйственным организациям в Северо-Западном федеральном округе уже достигнут показатель с 1,5 условных голов на гектар

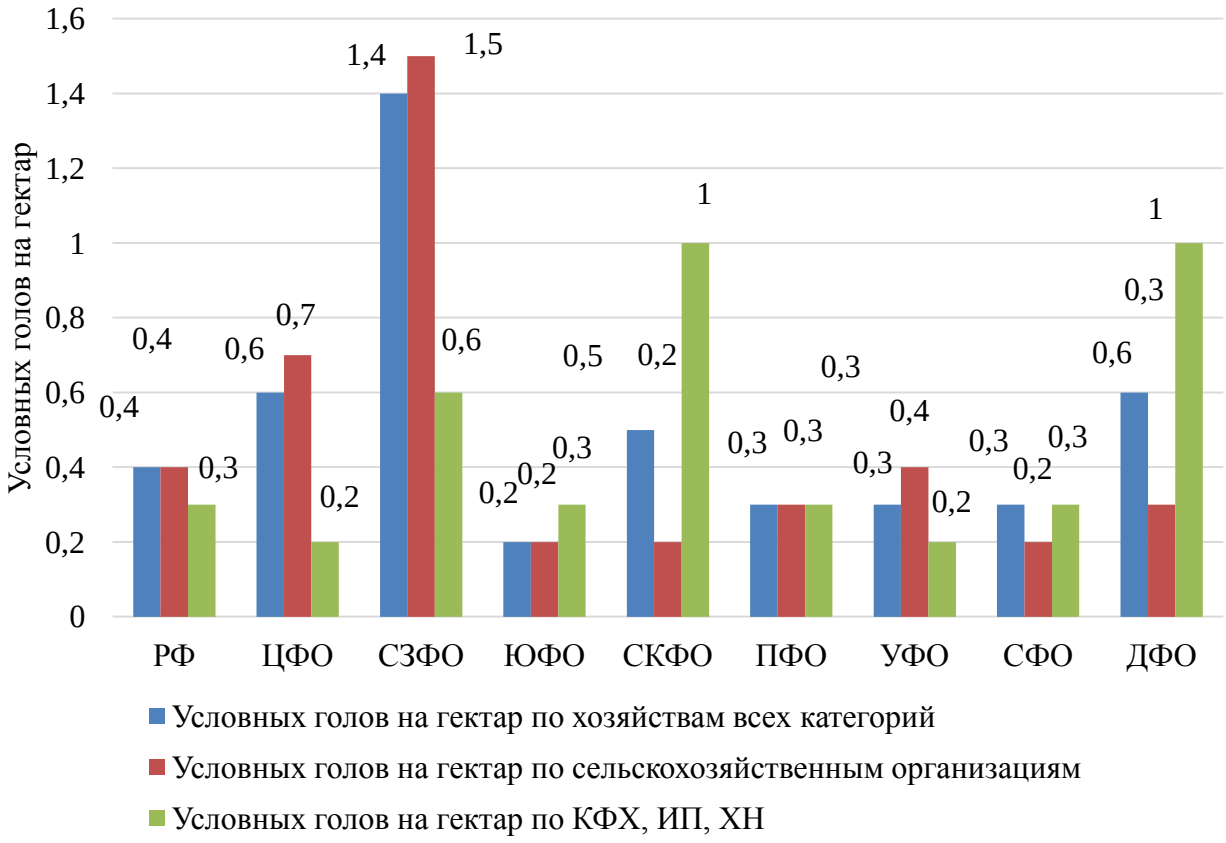


Рис.5. Условные головы на гектар по хозяйствам всех категорий по федеральным округам РФ – расчетные данные

Укрупненная оценка устойчивости территорий по показателю условные головы на гектар показала, что во всех федеральных округах, кроме Северо-Западного, имеется задел на возможное наращивание мощностей сельскохозяйственного производства.

При расчете потребности по внесению питательных веществ с учетом расчетных данных по массе органического удобрения и статистических данных по массе применяемого минерального удобрения установлено, что во всех федеральных округах, кроме Северо-западного федерального округа, имеется потенциальная потребность по внесению таких питательных веществ, как общий азот и фосфор (рисунок 6).

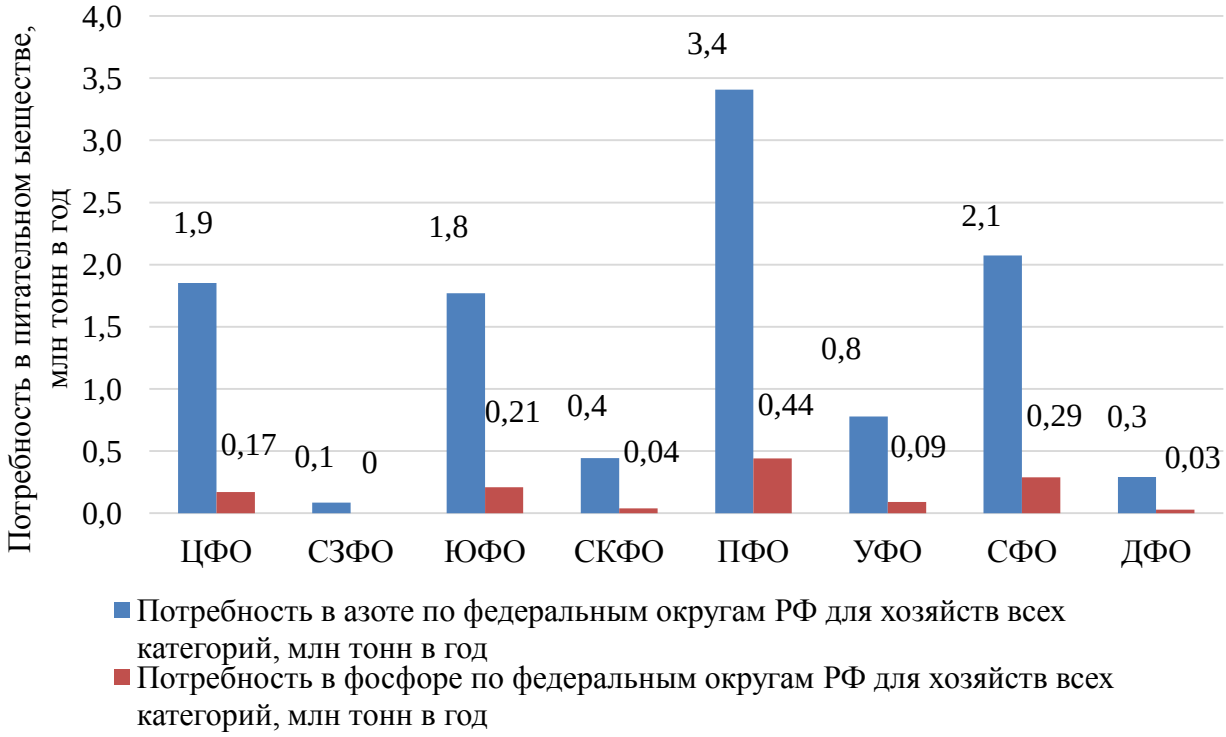


Рис. 6. Потенциальная потребность по внесению питательных веществ с учетом органических и минеральных удобрений – расчетные данные

Первое место по потребности в питательных элементах занимает Приволжский федеральный округ: 3,4 млн. тонн в год по азоту для хозяйств всех категорий и 0,44 млн. тонн в год по фосфору для хозяйств всех категорий. Второе место занимает Сибирский федеральный округ: 2,1 млн. тонн в год по азоту для хозяйств всех категорий и 0,29 млн. тонн в год по фосфору для хозяйств всех категорий. Третье место занимают Центральный и Южный федеральные округа (1,9 млн. тонн в год и 1,8 млн. тонн в год соответственно по азоту для хозяйств всех категорий; 0,17 млн. тонн в год и 0,21 млн. тонн в год соответственно по фосфору для хозяйств всех категорий). Последнее место занимает Северо-Западный федеральный округ, в котором потребность по азоту составляет 0,1 млн. тонн в год для хозяйств всех категорий, а по фосфору потребность равна 0.

Анализ данных в целом по Российской Федерации показал, что в каждом федеральном округе (кроме Северо-Западного, включающего Ленинградскую область) имеется нехватка питательных веществ в почве из-за выноса их с урожаем сельскохозяйственных культур и потребность в дополнительном органоминеральном удобрении (рисунок 7). При расчетах использованы средние значения по содержанию общего азота в органоминеральном удобрении в 5 кг/т.

Рис. 7. Потребность в дополнительном органическом удобрении в расчете на вынос питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур (для всех категорий хозяйств) – расчетные данные

Одним из решений сложившейся в СЗФО, а в частности в Ленинградской области, проблемы обращения с навозом и пометом является создание агробиотехнопарка переработки органических отходов в высокоэффективные органоминеральные микробиологические удобрения. Полученные органические удобрения в дальнейшем могут быть транспортированы в менее нагруженные регионы РФ.

Учитывая, что основным поставщиком зерновых культур, необходимых для кормопроизводства в СЗФО, являются Центральный федеральный округ, Южный федеральный округ и Приволжский федеральный округ, данные регионы рассмотрены как потенциальные потребители органического удобрения, полученного в СЗФО. С данных регионов ежегодно поступает в СЗФО порядка 1,5 млн. тонн зерна. Данная логистика позволит сохранить баланс питательных веществ на уровне регионов и обеспечить замкнутый цикл производства (животные/птица – навоз/помет – удобрение – плодородие почв – урожайность – кормопроизводство – животные/птица).

В Центральном федеральном округе потребность в органическом удобрении составляет 40,4 млн. тонн (нехватка 0,2 млн. тонн азота). В Южном федеральном округе потребность в органическом удобрении составляет 141,8 млн. тонн (нехватка 0,7 млн. тонн азота). В Приволжском федеральном округе потребность в органическом удобрении составляет 199,6 млн тонн (нехватка 0,99 млн тонн азота). Получаемые в агротехнопарке высокоэффективные органоминеральные микробиологические удобрения являются ценным ресурсом для соседствующих с СЗФО регионов.

Выводы

1. Обоснован порядок сбора исходных данных для проведения расчетов и оценки экологической ситуации территории при обращении с органическими побочными продуктами животноводства и птицеводства на макроуровне.
2. Проанализированы федеральные округа Российской Федерации по интенсификации животноводства и птицеводства. Наиболее загруженными по

интенсификации животноводства и птицеводства являются Центральный федеральный округ (3224,2 тысяч голов КРС; 13978,2 тысяч голов свиней и 177068,3 тысяч голов птицы), Северо-Западный федеральный округ (707,5 тысяч голов КРС; 2242,1 тысяч голов свиней и 46484,5 тысяч голов птицы), Северо-Кавказский федеральный округ (2111,73 тысяч голов КРС; 429,4 тысяч голов свиней и 36207,8 тысяч голов птицы) и Дальневосточный федеральный округ (1265,9 тысяч голов КРС; 662,6 тысяч голов свиней и 9707 тысяч голов птицы).

3. Создание агротехнопарка может ускорить решение проблем эффективного и экологически безопасного развития интенсивного животноводства и птицеводства в части утилизации органических отходов. Агротехнопарки переработки навоза и помета позволят вовлечь в хозяйственный оборот дополнительные ресурсы в виде органического вещества и питательных элементов, биоэнергии и новых вторичных продуктов.
4. При анализе потребности в питательных веществах по регионам РФ учтены потребности в азоте конкретных сельскохозяйственных культур. Анализ данных показал дополнительно в Центральном федеральном округе потребность в органическом удобрении составляет 40,4 млн тонн. В Южном федеральном округе потребность в органическом удобрении составляет 141,8 млн тонн. В Приволжском федеральном округе потребность в органическом удобрении составляет 199,6 млн тонн.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свинарев И.Ю., Сковороднева Н.К. Влияние промышленного свиноводства на благосостояние жизни людей и животных // Эффективное животноводство. 2018. № 8 (147). С. 68-71.

2. Колмацкий Г.В. Индустриализация и интенсификация отрасли свиноводства на юге России. Дис. … д-ра с.-х. наук. Черкесск: ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия». 2014. 367 с.

3. Малаков Ю.Ф. Научно-технические решения проблемы улучшения продуктивности почв путем эффективного применения органических удобрений: Дис. … д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2001. 279 с.

4. Еськов А.И., Лукин С.М., Тарасов С.И. Новые виды органических, органо-минеральных удобрений и биокомпостов // Плодородие. 2006. № 5. С. 20-23.

5. Иванов Ю.А., Миронов В.В. Экологические проблемы современного животноводства // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства. 2015. № 8. С. 9-13.

6. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В. Анализ образования и накопления животноводческих отходов в Ленинградской области // Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии. Сб. научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (8-10 июля, 2015 г., Владимир). Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ, 2015. С. 310-317.

7. Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Перспективы и экологические проблемы развития птицеводства в России // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 92. С. 175-186.

8. Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Субботин И.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Результаты агроэкологических исследований в рамках европейских программ сотрудничества // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1 (98). С. 236-247.

9. Hamouda R., Bahnasawy A., Ali S., Ramadan EIS. Some physical and chemical properties of bio-fertilizers. Journal of Fertilizers & Pesticides. 2016. No. 7, 161.

10. Jin-Jhu Su, Huang Hsi-Chuan, Chen Yi-Ching, Shih Ming-Yao. A design of a solar fermentation system on chicken manure by fuzzy logic temperature control. *Applied Sciences*. 2021. No. 11 (22), 10703.

11. Heidarzadeh Vazifehkhoran A., Finzi A., Perazzolo F., Riva E., Ferrari O., Provolo G. Nitrogen recovery from different livestock slurries with an innovative stripping process. Sustainability. 2022. No. 14, 7709.

12. Agricultural recycling of the by-product concentrate of livestock wastewater treatment plant processed with VSEP RO and bio-ceramic SBR. Water Science and Technology. 2004. Vol. 49. No 5-6, pp. 405-412.

13. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/ (Дата обращения 14.12.2022).

14. Statistics and data on Europe [Электронный ресурс] Режим доступа: http://ec.europa.eu/eurostat/ (Дата обращения 14.12.2022).

15. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Обломкова Н.С., Фрейдкин И.А., Минин В.Б. Применение критериев оценки негативного воздействия на окружающую среду сельскохозяйственными предприятиями // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 3 (100). С. 130-137.

REFERENCES

1. Svinarev I.Yu., Skovorodneva N.K. Vliyanie promyshlennogo svinovodstva na blagosostoyanie zhizni lyudei i zhivotnykh [The impact of industrial pig farming on human and animal welfare]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018. No. 8 (147): 68-71 (In Russian)

2. Kolmatskii G.V. Industrializatsiya i intensifikatsiya otrasli svinovodstva na yuge Rossii [Industrialization and intensification of pig breeding in southern Russia]. Diss. DSc (Agriculture). Cherkessk: FGBOU VPO «Severo-Kavkazskaya gosudarstvennaya gumanitarno-tekhnologicheskaya akademiya». 2014. 367 p. (In Russian)

3. Malakov Yu.F. Nauchno-tekhnicheskie resheniya problemy uluchsheniya produktivnosti pochv putem effektivnogo primeneniya organicheskikh udobrenii [Scientific and technical solutions to improve soil productivity through the effective use of organic fertilizers]. Diss. DSc (Engineering) Saint Petersburg, 2001. 279 p. (In Russian)

4. Eskov A.I., Lukin S.M., Tarasov S.I. Novye vidy organicheskikh, organo-mineral'nykh udobrenii i biokompostov [New types of organic, organo-mineral fertilizers and biocomposts]. *Plodorodie.* 2006. No. 5: 20-23. (In Russian)

5. Ivanov Yu.A., Mironov V.V. Ekologicheskie problemy sovremennogo zhivotnovodstva [Environmental problems of modern animal husbandry]. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obsluzhivaniya sel'skogo khozyaistva.* 2015. No. 8: 9-13. (In Russian)

6. Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V. Analiz obrazovaniya i nakopleniya zhivotnovodcheskikh otkhodov v Leningradskoi oblasti [Analysis of the formation and accumulation of livestock waste in the Leningrad Region]. Ekologicheskie problemy

ispol'zovaniya organicheskikh udobrenii v zemledelii [Ecological problems of the use of organic fertilizers in arable afrming]. Proc. All- Russian Sci. Prac. Conf. with Int. Part. (8-10 July 2015, Vladimir). Vladimir: FGBNU VNIIOU, 2015: 310-317. (In Russian)

7. Vasilev E.V., Shalavina E.V. Perspektivy i ekologicheskie problemy razvitiya ptitsevodstva v Rossii [Opportunities and environmental challenges for development of poultry farming in Russia]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017. No. 92: 175-186. (In Russian)

8. Bryukhanov A.Yu., Maksimov D.A., Subbotin I.A., Vasilev E.V., Shalavina E.V. Rezul'taty agroekologicheskikh issledovanii v ramkakh evropeiskikh programm sotrudnichestva [Results of agro-environmental studies in the framework of European cooperation programmes]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2019. No. 1 (98): 236-247. (In Russian)

9. Hamouda R., Bahnasawy A., Ali S., Ramadan EIS. Some physical and chemical properties of bio-fertilizers. *Journal of Fertilizers & Pesticides*. 2016. No. 7, 161.

10. Jin-Jhu Su, Huang Hsi-Chuan, Chen Yi-Ching, Shih Ming-Yao. A design of a solar fermentation system on chicken manure by fuzzy logic temperature control. *Applied Sciences*. 2021. No. 11 (22), 10703.

11. Heidarzadeh Vazifehkhoran A., Finzi A., Perazzolo F., Riva E., Ferrari O., Provolo G. Nitrogen recovery from different livestock slurries with an innovative stripping process. *Sustainability*. 2022. No. 14, 7709.

12. Agricultural recycling of the by-product concentrate of livestock wastewater treatment plant processed with VSEP RO and bio-ceramic SBR. *Water Science and Technology*. 2004. Vol. 49. No 5-6: 405-412.

13. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. [Federal State Statistics Service] Available at: https://rosstat.gov.ru/ (accessed 14.12.2022). (In Russian)

14. Statistics and data on Europe Available at: http://ec.europa.eu/eurostat/ (accessed 14.12.2022).

15. Shalavina E.V., Vasilev E.V., Oblomkova N.S., Freidkin I.A., Minin V.B. Primenenie kriteriev otsenki negativnogo vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu sel'skokhozyaistvennymi predpriyatiyami [Application of assessment criteria for adverse environmental impact of agricultural enterprises]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 3(100): 130-137 (In Russian)

УДК 633.0288 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-50-57

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЮЦЕРНЫ СЕРПОВИДНОЙ *(MEDICAGO FALCATA L)* В ЕСТЕСТВЕННЫХ СООБЩЕСТВАХ НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Я.М. Абдушаева, д-р с.х. наук

Новгородский государственный университет имения Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Российская Федерация

Для решения проблемы дефицита кормового белка в Северо-Западном регионе РФ необходимо расширение ассортимента многолетних бобовых трав, которые в своем составе богаты перевариваемым белком и незаменимыми аминокислотами, а также разработка экологически безопасных технологий при использовании естественных сенокосов. В статье приведены результаты геоботанических описаний естественных сообществ (агрофитоценозов) с высоким долевым участием растений люцерны серповидной. Описаны морфологические особенности роста и развития экотипов *Medicago falcata* L в агрофитоценозах и изучена их семенная продуктивность. Цель исследования – изучение возрастного состояния, семенной продуктивности и изменчивости морфологических признаков экотипов *Medicago falcata* L. в естественных сообществах Новгородской области. Объектами исследования были люцерна серповидная и естественные сообщества**.** Уборку семян проводили при побурении 30-40 % бобов; подсчитывали количество кистей на побеге, цветков в соцветии, число завязавшихся цветков и бобов в кисти, а также количество семян в бобе. В лабораторных условиях определяли посевные качества семян до скарификации и после скарификации. Проведенные биометрические измерения морфологических признаков люцерны серповидной позволили установить характер их изменчивости. Выявлено, что уровень изменчивости у изучаемых экотипов люцерны серповидной отмечался по высоте побегов, количеству листьев и соцветий, числу цветков в соцветии, завязавшихся бобов в соцветии и семян в бобе. Для сохранения вида в естественных сообществах определено возрастное состояние и дана оценка ценопопуляций люцерны серповидной. Установлено, что масса 1000 семян, собранных в третьей декаде июля, составляла 0,22 г, тогда как при уборке в августе снизилась в полтора раза. Семена, убранные первыми, имели максимальную всхожесть (78%), последними – на 25% ниже. Комплексная оценка природных экотипов позволит выявить их морфологические и биологические особенности люцерны серповидной и рекомендовать перспективные образцы для дальнейшего использования в селекционной работе.

Ключевые слова: растение, популяция, семенная продуктивность**,** люцерна серповидная, сохранение вида, естественные сообщества, природный экотип, кисть, побег, семена.

Для цитирования: Абдушаева Я.М. Эколого-биологическая оценка люцерны серповидной *(MEDICAGO FALCATA L)* в естественных сообществах Новгородской области // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4(113). С.50-58

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL ASSESSMENT OF SICKLE ALFALFA (*MEDICAGO FALCATA* L) IN NATURAL COMMUNITIES OF THE NOVGOROD REGION

Ya. M. Abdushaeva, DSc (Biology)
Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

The expanded varietal range of perennial legumes contributes to addressing the problem of fodder protein deficiency in the North-West Russia. These crops are rich in digestible protein and essential amino acids. It is also important to develop environmentally friendly technologies for natural hayfields employment. The article presents the results of geobotanical descriptions of natural communities (agrophytocenoses) with a high share of sickle alfalfa. It describes the morphological features of the growth and development of *Medicago falcata* L ecotypes in

agrophytocenoses and considers their seed productivity. The study aimed to investigate the age status, seed productivity and variability of morphological features of the ecotypes of *Medicago falcata* L. in the natural communities of the Novgorod Region. The study objects were the sickle (yellow) alfalfa and natural communities. The seeds were harvested when 30 to 40% of the beans became brown. The study counted the number of racemes per shoot, flowers in the inflorescence, the number of pods in the raceme, and the number of seeds in a pod. The sowing qualities of seeds before scarification and after scarification were determined in laboratory conditions. The performed biometric measurements of morphological features of the sickle alfalfa established the nature of their variability. The variability level in the studied ecotypes of sickle alfalfa was found to depend on the height of shoots, the number of leaves and racemes, flowers in the inflorescence, the number of pods in the raceme, and the number of seeds in a pod. To preserve the species in natural communities, the age status was determined and the cenopopulations of sickle alfalfa were estimated. The weight of 1000 seeds harvested in the third decade of July was found to be 0.22 g; the weight of the seeds harvested in August decreased by one and a half times. The seeds harvested first had the most germination capacity of 78%; those harvested last – 25% lower. The complex evaluation of natural ecotypes will reveal their morphological and biological features of sickle-type alfalfa and recommend the promising specimens for further use in the plant breeding.

***Keywords**:* plant, population, seed productivity, sickle alfalfa, species conservation, natural communities, natural ecotype, raceme, shoot, seeds.

For citation: Abdushaeva Ya. M. Ecological and biological assessment of sickle alfalfa (*Medicago falcata* L) in natural communities of the Novgorod Region. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4 (113): 50-58. (In Russian)

Введение

Ведущей отраслью растениеводства в Северо-западном регионе было и остается кормопроизводство, основной задачей которого является производство максимального количества высококачественных кормов при наименьших затратах. Биологические особенности крупного рогатого скота и его продуктивности сдерживается из-за низкого качества кормов и несбалансированности по белку. Поэтому для решения проблемы дефицита кормового белка, необходимо расширение ассортимента многолетних бобовых трав, которые в своем составе богаты перевариваемым белком и незаменимыми аминокислотами, а также разработка экологически безопасных технологий при использовании естественных сенокосов [4,5].

В естественных ценозах сформировались виды и их сообщества, обладающие высокой конкурентной способностью на конкретной территории. [1] Нами установлено, что виды растений предъявляют требования к местообитанию, занимают определенный ареал и поэтому их инвентаризация необходима для сохранения ценных признаков дикорастущих родичей культурных растений (ДРКР). Прогнозирование и развитие естественных ценозов зависит от эколого-ценотической приуроченности видов и их устойчивости в соответствующих экотопах. Естественное возобновление генофонда растений необходимо для сохранения видового разнообразия дикорастущих видов во флоре Новгородской области [8].

В естественных условиях люцерна серповидная широко распространена во многих регионах мира с различными климатическими и почвенными условиями, и повсеместно

известна как долголетняя, устойчивая к болезням, вредителям и другим абиотическим факторам [2,3,7]. Модельный объект нами выбран как источник зимостойкости, холодостойкости, устойчивости к затоплению, вытаптыванию скотом, с различными способами возобновления вегетации, на одном месте произрастает более 10 лет, наличием корневых отпрысков, длиннодневности, высокой облиственности, мягкостебельности, белковости и высокой экологической пластичности.

Материалы и методы

Исследование и обоснование морфологических признаков надземной массы проводили на основе системного анализа продуктивности, при котором агрофитоценоз изучали в качестве единой функционирующей системы. При системном анализе формирования урожая, растения в травостое рассматривали как сложные фотосинтезирующие биологические системы, состоящие из целого ряда подсистем, взаимодействующих между собой и с внешней средой [6,9,10]. Такой анализ позволяет выделить основные, наиболее важные подсистемы, процессы и связи продукционного процесса.

Результаты и обсуждение

Анализ возрастного состава ценопопуляций люцерны серповидной проводился дифференцированно по генеративному и вегетативному возобновлению, что позволило выяснить приспособительные возможности вида. Кроме того, выявили влияние экзогенных (эколого-фитоценотическнх и антропогенных) и эндогенных (процессы самовозобновления популяций, онтогенетическое развитие особей) факторов, которые создают сложную картину динамики ценопопуляций. Нами были исследованы основные признаки: численность, фракционный состав, возрастная структура и урожайность зеленой массы. Основные фитоценотические показатели сказываются на флористическом составе, видовой насыщенности (до 25 видов на 1м^2), общем проективном покрытии (70%) и степени задерненности, что влияет на особенности возобновления ценопопуляций изучаемого вида. Установлено, что на хорошо дренированных участках по берегу реки Мста в Боровичском районе отмечались изменение жизненной формы растений люцерны серповидной от корневищно-стержнекорневой к стержнекорневой (рис.1). В ценопопуляции произрастающей на Шелонских лугах в Солецком районе отмечали увеличение генеративных побегов, что говорит о снижение численности особей к вегетативному размножению (табл. 1).

Рис. 1 Моноклон люцерны серповидной

Таблица 1

Возрастной спектр растений люцерны серповидной на Шелонских лугах

Возрастная структура популяции	Количество растений,%
Ювенильные растения	7
Взрослые вегетативные	32
Молодые генеративные особи	56
Средневозрастные	27
Генеративные особи	5
Молодые генеративные особи	3

Почвы на данном участке достаточно обеспечены подвижными формами фосфора, несколько ниже содержание калия около 5 мг/100 г почвы. Выявлено редкое сочетание разных типов почв, сформировавшихся на песках и глинах, карбоновых отложений, принесённых ледником. Сформировавшиеся луга отличаются богатым видовым разнообразием.

Изучение динамики побегообразования по годам жизни растений показало, что число формирующихся на растении побегов у растений люцерны серповидной с возрастом увеличивается. У растений третьего года жизни число побегов варьировало в пределах 225-350 шт., а затем, вследствие вегетативного размножения, сформировался сплошной травостой не дифференцированный на отдельные растения. Данная картина нами отмечена на Мстинских лугах и в Боровичском районе. На побегообразование существенное влияние оказывает зона возобновления и зона ветвления. Побеги зоны возобновления немногочисленны (не более 20% от числа всех побегов на растении) и главная их функция – обеспечение побегообразования после перезимовки на следующий год жизни, так как из почек, закладывающихся на их основаниях, ежегодно формируется новая генерация побегов. Основная масса побегов растения состоит из полностью отмирающих побегов зоны ветвления, которые имеют основное значение для семенного воспроизведения.

Помимо побегообразования для создания сортов сенокосного использования важным морфологическим признаком является способность формировать листовую розетку. Изученные нами экотипы люцерны серповидной имели лежачую листовую розетку, особенно у растений произрастающих на Шелонских лугах, но встречались также растения с восходящей и стоячей розеткой. В злаковой ассоциации на Мстинских лугах в Боровичском районе преобладали растения с прямостоячей розеткой.

Форма листовой розетки оказывает существенное влияние на самовозобновление люцерны серповидной. Генеративные побеги у прямостоячей формы листовой розетки формировали от 10 до 30 шт. соцветий, в среднем за годы исследований их число составило 16,2. В соцветиях люцерны закладывалось от 13 до 27 цветков. Заложившиеся репродуктивные органы редуцируются на разных этапах развития, что приводит к снижению семенной продуктивности. Мстинские экотипы люцерны серповидной формировали в среднем от 4 до 19% плодов на репродуктивном побеге от числа заложившихся цветков. Растительная ассоциация оказывает также существенное влияние на уровень реализации органогенного потенциала.

Знание межпопуляционной изменчивости признаков растений является важной селекционной оценкой. При этом зачастую не так важно иметь представление о варьировании признака самого по себе, как знать его положение в общей системе признаков растения и зависимостях связывающих с варьированием других признаков. Нами установлены корреляционные плеяды различных признаков, обусловливающих высокую семенную продуктивность экотипов люцерны серповидной. Семенная продуктивность положительно и тесно сопряжена с массой растений r = 0,82±0,2, количеством генеративных стеблей r = 0,71±0,07 и с высотой растений до цветения r = 0,57±0,08. Если рассматривать корреляционную зависимость по высоте в начале возобновления вегетации то зависимость является слабой r = 0,24±0,5. Средняя корреляционная зависимость семенной продуктивности с числом стеблей в кусте r = 0,44±0,1, массой 1000 семян, граммах r = 0,38±0,5. Слабо коррелирует с продолжительностью вегетационного периода r = 0,30±0,1, периода цветение - созревание семян r = 0,24±0,7, плотностью кисти r = 0,19±0,1. Плотность кисти слабо коррелирует с количеством цветков. Нами также установлено, что между признаками кустистости и массой растений зависимость недостоверна.

Знание особенностей цветения и созревания семян позволяет более полно использовать потенциальные возможности растений люцерны серповидной и подобрать сформировать растения, чтобы обеспечить исходным материалом по семенной продуктивности. Растянутый период цветения и формирования бобов приводит к разнокачественности семян, которые завязываются на растении при опылении в разные сроки вегетации. Одним из условий формирования неоднородных семян является время заложения генеративных органов и различные темпы прохождения этапов органогенеза. Для выявления периода формирования максимального количества наиболее качественных семян использовали по 30 трехлетних модельных растений, и с момента появления зрелых плодов осуществляли их сбор через неделю. Семенная продуктивность и величина репродуктивных органов люцерны серповидной находилась в прямой зависимости от очередности формирования кистей на растении. Кисти с высоким процентом завязываемости семян и, соответственно, семена первых сроков формирования были наиболее крупными и характеризовались низким процентом твердокаменности. Нами установлено, что масса 1000 семян, собранных в третей декаде июля, составляла 0,22 г, тогда как при уборке в августе снизилась в полтора раза. Семена, убранные первыми, имели максимальную всхожесть (78%), последними – на 25% ниже. Однако этот показатель, равно как и масса 1000 семян, четко коррелировал со сроками их формирования (r = 0,73±0,1). Также установлена прямая коррелятивная зависимость между массой тысячи семян, всхожестью и семенной продуктивностью (r = 0,67±0,2). Данная зависимость четко коррелировала со сроками формирования семян. Кроме того, семена, собранные с верхних ярусов, отличаются меньшим весом и более высокой твердокаменностью, чем семена с нижерасположенных ярусов.

Выводы

Нами установлено, что экотипы Шелонского луга представляют собой наиболее ценный исходный материал для селекции, который отличается хорошей сбалансированностью процессов цветения и созревания семян, высокими компонентами семенной продуктивности.

Проведенные исследования позволяют установить оптимальные сроки уборки люцерны серповидной на семена, определив наиболее продуктивную фракцию кистей и дающую высококачественные семена.

Комплексная оценка природных экотипов позволяет выявить морфологические и биологические особенности люцерны серповидной и рекомендовать перспективные образцы для дальнейшего использования в селекционной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдушаева Я.М., Дзюбенко Н. И., Николаева Т. А. Агроэкологическая оценка условий произрастания ценопопуляции *Medicago falcate* L. //| Вестник Новг. Гос. Ун-та. Серия Сельскохозяйственные науки, 2014. № 76. С.54-57.

2. Абдушаева Я.М., Дзюбенко Н. И., Николаева Т. А. Перспективные экотипы MEDICAGO FALCATA L. в качестве исходного материала для селекции / *Селекция растений: прошлое, настоящее и будущее*: сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, / под общ. ред. Е.В. Думачевой. Белгород: ИД «Белгород» НИУ БелГУ, 2017. С.7-9.

3. Атласова Л.Г. Жизнеспособность и изменчивость морфологических признаков люцерны серповидной *Medicago falcata* L., *Medicago* x *varia* L. в условиях долины Средней Лены // *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 5. С. 16-22.

4. Бевз С.Я., Абдушаева Я.М., Бурова С.С. Антропогенная энергия при возделывании злаковых и бобово-злаковых луговых травостоев первого и второго годов жизни / *Наука, бизнес, власть – триада регионального развития.* Материалы IV международной научно-практической конференции (Великий Новгород, 05 апреля 2019 г.). Великий Новгород: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 24-27

5. Дьяченко О. В., Меркелова В. А., Козловская Н. И., Седова С. С. Кормовая продуктивность возрастных посевов люцерно-мятликовых травосмесей на фоне пролонгированного действия борофоски // *Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК:* материалы XIV межд. науч. конф. Брянск: Издательство Брянского ГАУ. 2017. С. 241-245.

6. Чернявских В.И. Рекуррентная селекция как основа повышения продуктивности люцерны в Центрально-Чернозёмном Регионе. *Кормопроизводство*, 2016. №12. С. 40-44.

7. Чернявских В.И., Бородаева Ж.А., Думачева Е.В. Устойчивость сортопуляций *Medicago varia Mart*. к листовым пятнистостям в экотопах юга Среднерусской возвышенности. *Аграрная наука*, 2019. №S1. С. 109-113.

8. Abdushaeva Ya.M. The problem of vegetable protein and its solutions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 613, 012003.

9. Cherniavskih V.I., Dumacheva E.V., Lisetskii F.N., Tsugkiev B.G., Gagieva L.Ch. Floral variety of *Fabaceae Lindl*. family in gully ecosystems in the south-west of the Central Russian Upland. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 2019. Vol.12, No 2, pp. 203-210. DOI: 10.21786/bbrc/12.2/1. - Refer.: p. 209-210.

10. Popescu S., Boldura O.-M., Ciulca S. Evaluation of the genetic variability correlated with multileaflet trait in alfalfa. *AgroLife Scientific Journal*, 2016. Vol. 5, No. 2, pp. 125-130.

REFERENCES

1. Abdushaeva Ya.M., Dzyubenko N. I., Nikolaeva T. A. Agroekologicheskaya otsenka uslovii proizrastaniya tsenopopulyatsii *Medicago falcate* L. [Agro-ecological evaluation of

growing conditions for the cenopopulation of *Medicago falcata* L]. *Vestnik Novg. Gos. Un-ta. Seriya Sel'skokhozyaistvennye nauki*, 2014. No. 76: 54-57 (In Russian)

2. Abdushaeva Ya. M., Dzyubenko N. I., Nikolaeva T. A. Perspektivnye ekotipy *MEDICAGO FALCATA* L. v kachestve iskhodnogo materiala dlya selektsi [Promising ecotypes of alfalfa *FALCATA* L. as a source material for breeding] / *Selektsiya rastenii: proshloe, nastoyashchee i budushchee* [Plant breeding: past, present and future]. Proc. I All-Russia Sci. Prac. Conf. with Int. Part., (E.V. Dumacheva (ed.). Belgorod: ID «Belgorod» NIU BelGU, 2017: 7-9 (In Russian)

3. Atlasova L.G. Zhiznesposobnost' i izmenchivost' morfologicheskikh priznakov lyutserny serpovidnoi *Medicago falcata* L., *Medicago x varia* L. v usloviyakh doliny Srednei Leny [Vitality and variability of morphological parameters of *Medicago Falcata* L. and *Medicago* × *Varia* L. under conditions of the middle Lena River valley]. *Vestnik KrasGAU*. 2018 No. 5: 16-22 (In Russian)

4.Bevz S.Ya., Abdushaeva Ya.M., Burova S.S. Antropogennaya energiya pri vozdelyvanii zlakovykh i bobovo-zlakovykh lugovykh travostoev pervogo i vtorogo godov zhizni [Anthropogenic energy in the cultivation of cereal and legume-cereal meadow grass stands of the first and second years of life]. In: *Nauka, biznes, vlast' – triada regional'nogo razvitiya*. [Science, business, power – the triad of regional development]. Proc. IV Int. Sci. Prac. Conf. (Veliky Novgorod, 05 April 2019). Veliky Novgorod: GNII «Natsrazvitie», 2019: 24-27 (In Russian)

5. Dyachenko O. V., Merkelova V. A., Kozlovskaya N. I., Sedova S. S. Kormovaya produktivnost' vozrastnykh posevov lyutserno-myatlikovykh travosmesei na fone prolongirovannogo deistviya borofoski [Fodder productivity of age crops alfalfa-bluegrass mixtures on the background of the prolonged action of complex borofoska]. *Agroekologicheskie aspekty ustoichivogo razvitiya APK* [Agroecological aspects of sustainable development of agroindustrial complex]. Proc. XIV Int. Sci. Conf. Bryansk: Izdatel'stvo Bryanskogo GAU. 2017: 241-245 (In Russian)

6. Cherniavskih V.I. Rekurrentnaya selektsiya kak osnova povysheniya produktivnosti lyutserny v Tsentral'no-Chernozemnom Regione [Recursive selection as the basis for increasing the productivity of alfalfa if the Central Chernozem Region]. *Kormoproizvodstvo*, 2016. No. 12: 40-44 (In Russian)

7. Chernyavskikh V.I., Borodaeva Zh.A., Dumacheva E.V. Ustoichivost' sortopulyatsii Medicago varia Mart. k listovym pyatnistostyam v ekotopakh yuga Srednerusskoi vozvyshennosti [Sustainability of *Medicago Varia Marl* sorting populations to leaf spos in ecotopes of the south of the Middle Russian Highland]. *Agrarnaya nauka*, 2019. No. S1: 109-112 (In Russian) DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-109-112

8. Abdushaeva Ya.M. The problem of vegetable protein and its solutions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 613, 012003 (In English)

9. Chernyavskikh V.I., Dumacheva E.V., Lisetsky F.N., Tsugkiev B.G., Gagieva L. Ch. Flower variety of *Fabaceae Lindl*. family in gully ecosystems in the south-west of the Central Russian Upland. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 2019. Vol.12, No 2: 203-210 (In English) DOI: 10.21786/bbrc/12.2/1. - Refer.: p. 209-210.

10. Popescu S., Boldura O.-M., Ciulca S., Evaluation of the geneticvariability correlated with multileaflet trait in alfalfa. *AgroLife Scientific Journal*, 2016. Vol. 5, No. 2: 125-130.

УДК: 633.288: DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-58-68

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗЦОВ ОВСЯНИЦЫ ТРОСТНИКОВОЙ (*FESTUCA ARUNDINACEA SCHREB.*) КОЛЛЕКЦИИ ВИР В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. Ю. Малышева[1], канд. с-х. наук Н. В. Ковалева[2]
Т. Б. Нагиев[2], канд. с-х. наук

[1]ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия;
[2]Ленинградский НИИСХ «Белогорка» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха», Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Россия

Овсяница тростниковая – рыхлокустовой верховой многолетний злак озимого типа. Это аллогексаплоидный вид (2n=6x=42). Овсяница тростниковая используется как пастбищная, газонная, сенокосная культура. Зеленая масса применяется для производства сена, силоса, сенажа, и травяной муки. Культуру характеризуют как долголетнюю, устойчивую к вытаптыванию на пастбищах. В Государственном реестре селекционных достижений из 59 рекомендованных сортов овсяницы тростниковой 15 сортов – отечественного происхождения. Цель работы – выявить исходный материал овсяницы тростниковой с выдающимися хозяйственно ценными признаками в условиях изменчивых факторов окружающей среды для создания новых сортов для сенокосного использования на Северо-Западе Российской Федерации. Исследования проводили на экспериментальных полях Ленинградского НИИСХ (“Белогорка”) в 2018-2020 годах. Посев и изучение образцов было проведено согласно методике ВИР. В изучении находилось восемь образцов овсяницы тростниковой из коллекции ВИР. Все образцы обладали высокой устойчивостью к стрессу, вызванному неблагоприятными погодными условиями. Особенно обращает на себя внимание морозостойкость овсяницы тростниковой при отсутствии снежного покрова. По результатам трехлетнего исследования наибольший урожай зеленой массы имели образцы из Финляндии: Коммерческий к-42861, Hja 2302 к-48175, Hja 2303 к-48176 и образец из Карелии к-49911 с урожайностью зеленой массы до 80 т/га. Вероятно, почвенно-климатические условия Ленинградской области оказались сходными с условиями мест географического происхождения образцов. За три года коммерческий сорт из Финляндии к-42861 превзошел все образцы по комплексу хозяйственно ценных признаков. Образцы Hja 2302, к-48175, Hja 2303 имели относительно мягкие листья. Этот признак особенно желателен в селекции вида овсяницы тростниковой.

Ключевые слова: овсяница тростниковая, коллекция ВИР, урожайность зеленой массы, урожайность семян, климатические изменения

Для цитирования: Малышева Н.Ю., Нагиев Т.Б., Ковалева Н.В. Сравнительная оценка образцов овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.) коллекции ВИР в Ленинградской области // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С.58-69

COMPARATIVE EVALUATION OF ACCESSIONS OF TALL FESCUE (*FESTUCA ARUNDINACEA SCHREB.*) FROM THE VIR COLLECTION IN THE LENINGRAD REGION

N. Yu. Malysheva [1], Cand. Sc. (Agriculture) N. V. Kovaleva [2]
T. B. Nagiev [2], Cand. Sc. (Agriculture)

[1] N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint Petersburg, Russia;
[2] Leningrad Research Institute of Agriculture «Belogorka», Belogorka village, Gatchinsky District, Leningrad Region, Russia

Tall fescue is a loose-leafed, perennial winter-type cereal belonging to allogexaploid species (2n=6x=42). Tall fescue is seeded on pastures, lawns and hay fields. The green mass is used to produce hay, silage, haylage, and grass flour. This is a long-lasting crop, trampling-resistant on pastures. In the State Register of Selection Achievements, out of 59 recommended varieties of tall fescue, 15 ones are of domestic origin. The research aimed to identify the accessions of tall fescue with outstanding economically valuable characteristics in a changing environment to create new varieties for haymaking in the North-West Russia. The studies were organized on the experimental fields of the Leningrad Research Institute ("Belogorka") in 2018-2020. The seeding of accessions followed the VIR method. Eight accessions of tall fescue from the VIR collection were investigated for three years. All accessions were highly stress-resistant to adverse weather conditions. Especially noteworthy was the frost resistance of tall fescue in the absence of snow cover. According to the three-year study results, the accessions from Karelia and Finland demonstrated the highest green mass yield. The wild accession from Karelia k-49911 and three accessions from Finland (commercial k-42861, Hja 2302 k-48175 and Hja 2303 k-48176) had the green mass yield up to 80 t/ha. Probably, the soil and climatic conditions of the Leningrad Region turned out to be similar to those of the places of geographical origin of the Finnish accessions. Every year the commercial variety from Finland k-42861 surpassed other accessions by the range of economically valuable features. The accessions Hja 2302, k-48175, Hja 2303 had relatively soft leaves. This feature should be paid special attention in tall fescue breeding.

***Keywords**:* tall fescue, VIR collection, green mass yield, seed yield, climate change

For citation: Malysheva N. Yu., Nagiev T. B., Kovaleva N. V. Comparative evaluation of accessions of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) from the VIR collection in the Leningrad Region. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4 (113): 58-69. (In Russian)

Введение

Овсяница тростниковая (*Festuca arundinacea* Schreb.) – рыхлокустовой верховой многолетний злак озимого типа. Это аллогексаплоидный вид (2n=6x=42) [1]. (*F. arundinacea* Schreb.) включает в себя три подвида: первый – *F. arundinacea* subsp. *arundinacea* распространен в Южной Скандинавии, Атлантической и Средней Европе, Прибалтике, Ладожско-Ильменском районе РФ; второй – *F. arundinacea* subsp. *orientalis* (Hack.) Tzvel. в Украине, Южной России, Западной Сибири, Крыму, Средней и Малой Азии, Средиземноморье, Иране, на Кавказе; третий - *F. arundinacea* subsp. *fenas* (Lag.) Arcang. - в Средиземноморье, Иране, Малой Азии, на Кавказе [2]. Распространение подвидов

представлено на карте ареалов составленной E. Hulten and M. Fries (рис. 1) на основе системы Н. Н. Цвелева [3].

Иногда вид рассматривают состоящим из трех больших групп морфотипов: континентального, средиземноморского и корневищного [4]. Другая группа исследователей рассматривают естественный ареал овсяницы тростниковой распространяющейся на Центральную и Северную Европу, Центральную и Северную Азию (кроме северных регионов) и Северную Африку [5]. В настоящей работе за основу была принята классификация Н. Н. Цвелева [2].

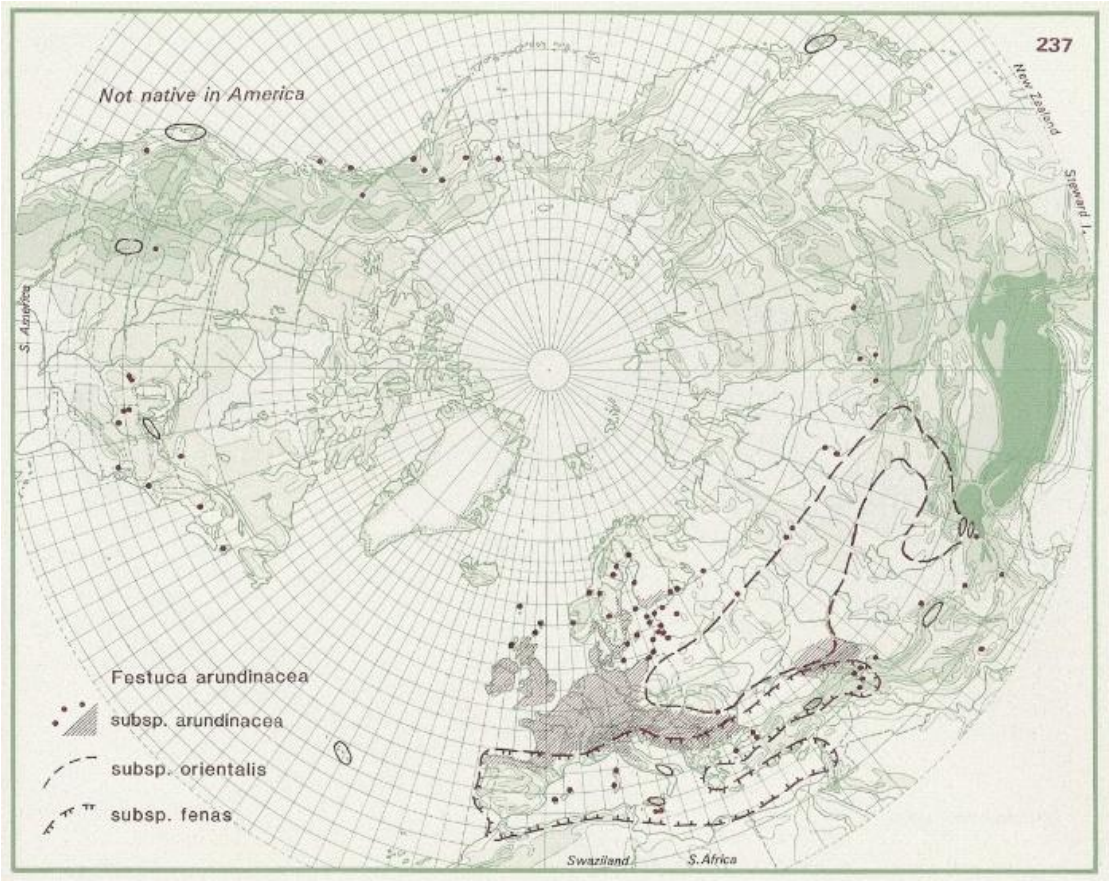


Рис. 1. Распространение подвидов овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb. *sensu lato*) по Hulten & Fries

Овсяница тростниковая интродуцирована в Северной и Южной Америке, Южной Африке, Австралии, где она вытесняет аборигенные виды трав, оказывая влияние на исторически сложившиеся экосистемы [6]. Овсяницу тростниковую выращивают как монокультуру, а также и в смеси с другими травами [7, 8]. В бобово-овсяницевых травосмесях овсяница тростниковая вытесняет бобовый компонент менее активно, чем кострец безостый. Из парных травосмесей самой урожайной является люцерно-овсяницевая [9]. Она используется как пастбищная, газонная, сенокосная культура. Надземная масса используется для производства сена, силоса, сенажа, травяной муки. Зеленая масса овсяницы тростниковой содержит 9,08-10,09% протеина, 31,79-33,08 клетчатки, 3,69-3,89 жира, 35,68-36,07% БЭВ [10].

Культуру характеризуют как долголетнюю, устойчивую к вытаптыванию на пастбищах. Овсяница тростниковая обладает высокой урожайностью зеленой массы и может

заменить традиционные кормовые травы в Северной Европе в условиях меняющегося климата [11]. Одним из недостатков культуры является жесткость листьев в фазе колошения, в связи, с чем растения становятся малопривлекательными для животных.

В Европейском Союзе рекомендовано к возделыванию более 200 сортов овсяницы тростниковой. В российском Госреестре селекционных достижений из 59 допущенных к использованию сортов овсяницы тростниковой рекомендованы 15 отечественных, остальные – иностранные [12]. Из числа иностранных сортов большая часть предназначена для газонного использования.

Цель исследований - выявить исходный материал овсяницы тростниковой с выдающимися хозяйственно ценными признаками в условиях изменчивых факторов окружающей среды для создания новых сортов сенокосного использования на Северо-Западе РФ.

Материал и методы

Исследования проводили на экспериментальных полях Ленинградского НИИСХ (“Белогорка”) в Ленинградской области в 2018-2020 годах. Посев был проведен 26 августа 2016 года. Посев и изучение образцов были проведены согласно методике ВИР [13]. Площадь учетной делянки − 3,5 м^2 (5 м × 0,7 м). Коллекцию, состоящую из восьми образцов овсяницы тростниковой, изучали по основным агробиологическим признакам.

Почвы на опытном поле – дерново-подзолистые, суглинистые, среднекислые (pH = 5,1) с низким содержанием гумуса (2%); P2O5 − 3,9 мг/100 и K2O − 8,5 мг/100 г почвы.

Для изучения были выбраны восемь образцов овсяницы тростниковой из коллекции ВИР (таблица). Сорт Западная был выведен на Павловской опытной станции ВИР в Ленинградской области в 1975 году из материала, собранного в экспедиции на Южном Сахалине и до 1975 года носившего название Сахалинская ВИР (к-29487) [7].

Таблица

Список образцов овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.)

№ каталога ВИР	Название	Происхождение
к-29487	Западная	Ленинградская область
к--37089	Балтика	Ленинградская область
к--39582	Зарница	Беларусь
к--46827	Лосинка	Кировская область
к--42861	Коммерческий	Финляндия
к--48175	Hija 2302	Финляндия
к--48176	Hija 2303	Финляндия
к--49911	Дикорастущая	Республика Карелия

Сорт Балтика был создан в Северо-Западном НИИСХ (Ленинградском НИИСХ “Белогорка”) в Ленинградской области в 1978 году на основе сорта Сахалинская ВИР [14]. Образцы Hja 2302 и Hja 2303 из южной Финляндии были получены из Hankkija Plant Breeding Institute. Сорт Лосинка выведен путем гибридизации сорта Сахалинская ВИР с другими выделившимися образцами: сортами Кировская 50 к-35625 из Кировской области, Балтика к-37089 из Ленинградской области, Brundzynski к-37120 из Польши, дикорастущих образцов к-37166 из Алма-Атинской области Казахстана и к-28448 из Краснодарского края. Родословные сорта Зарница из Белоруссии и сорта Коммерческий из Финляндии неизвестны. Наличие сахалинского образца к-29487 в родословной трех сортов предполагает высокую степень их сходства по основным признакам. Местонахождение овсяницы тростниковой за пределами ареала на острове Сахалин связано, наиболее вероятно, с миграцией населения России. Вид был занесен на Сахалин переселенцами в начале 20-го века [15], где он впоследствии натурализовался. Образец поступил в коллекцию ВИР из сборов экспедиции на Сахалине в 1951 году [7]. Все привлеченные в изучение образцы относились сенокосному типу.

Погодные условия проведения опыта резко отличались год от года. Зимние перепады температуры воздуха 2016-2017 годов от отрицательных к положительным привели практически к полному исчезновению снежного покрова. В самый холодный день месяца (6 января), когда температура воздуха опустилась до -26,2°С, растения оставались без снежного укрытия. Среднемесячная температура воздуха апреля, мая и июня в 2017 году была ниже средних многолетних на 2-3°С. Последний заморозок был отмечен 5 июня (-1,3°С). В последующие месяцы года температурный режим мало отличался от средних многолетних. В 2018 года характеризовался широким диапазоном колебания температур – от -12,5^{o}С 1 апреля до +20,8^{o}С 9 апреля. Начиная со второй декады мая температура воздуха в дневные часы поднималась выше 20°С, достигая в отдельные дни +28,9^{o}С (14 мая). Последующие месяцы года (кроме июня) были теплее среднестатистического. Температура воздуха в зимние месяцы 2018-2019 годов в среднем мало отличалась от средних многолетних, но диапазон температур между максимальным и минимальным значением был шире по сравнению с многолетними показателями. Из зимних месяцев декабрь 2018 года и январь 2019 года были холоднее, февраль и март – теплее средних многолетних. В 2019 апрель характеризовался широким диапазоном колебания температуры от – 6,6°С (3апреля) до +23,4°С (26 апреля). Июнь был очень теплым; средняя температура превысила среднюю многолетнюю на 2,8°С. Разница между средней температурой месяцев со средними многолетними значениями температуры были невелики до декабря 2019 года. В декабре и в последующие зимние месяцы 2020 года среднемесячная температура превысила средние многолетние на 2,0-5,1 градуса. Апрель и май 2020 года были холоднее среднестатистических значений на 1,6-2,1 градуса, а июнь теплее на 1,5 градусов. В целом, следует отметить, что температурный режим колебался в широких пределах по месяцам и сезонам в разные годы изучения.

Осадки в весенне-летний период 2018 года распределялись неравномерно. В апреле выпала двойная норма осадков, в мае и июне - в два раза меньше средних многолетних, в июле – в два раза выше средних многолетних значений. В декабре 2018 появился устойчивый снежный покров, который сохранялся до конца марта 2019 года. Количество осадков в апреле превысили средние многолетние в два раза, в июне осадков выпало в четыре раза меньше нормы, а в июле близко к норме. Снежный покров зимой 2019-2020 был

неустойчив. Последние осадки в виде снега выпали 29 апреля 2020 года. Выпавшие осадки в мае и июле были близки к норме, в июне были в два раза ниже нормы. Июнь – время цветения овсяницы тростниковой характеризовался недостатком влаги во все годы изучения.

Таким образом, в вегетационный период в разные годы количество осадков варьировало от двукратного превышения среднего месячного значения до менее, чем четверть от среднего. В отдельные годы в зимний период снежный покров был устойчив, в январе и феврале 2020 года практически отсутствовал.

Результаты и обсуждение

Начало весеннего отрастания овсяницы тростниковой приходилось на промежуток от 11 до 15 апреля в разные годы. Первый укос проводили во время фазы колошения растений через 55-70 дней от начала весеннего отрастания. Сорт Зарница в разные годы достигал укосной спелости позже на 5-7 дней, хотя в Беларуси сорт указан как раннеспелый.

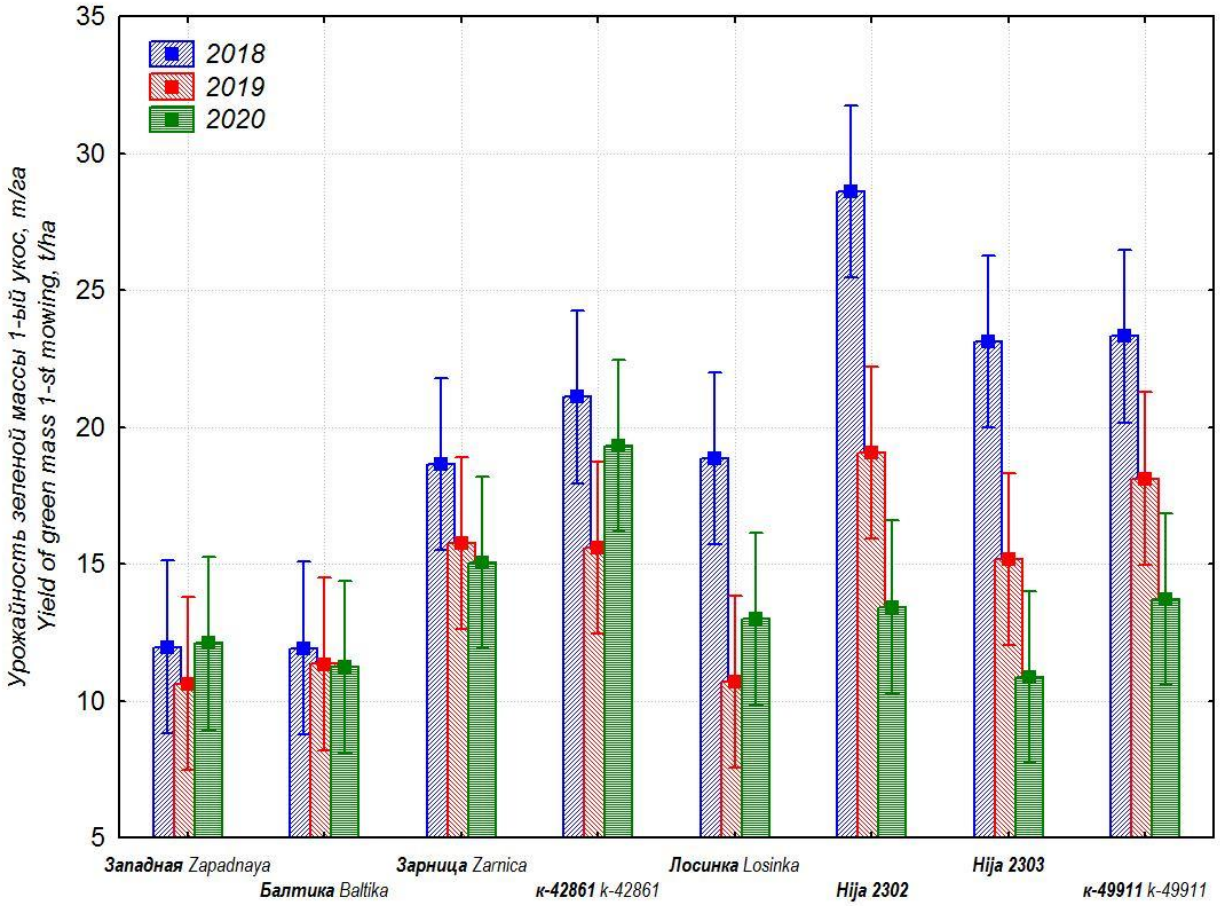


Рис.2. Урожайность зеленой массы овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.), первый укос. Белогорка. 2018-2020 гг.

В 2018 году по урожайности зеленой массы выделился образец Hja 2302 (рис.2). Он достоверно превзошёл все остальные образцы: его урожайность зелёной массы составила 28,6±2,23 т/га. Во второй группе оказались образцы со средней продуктивностью зеленой массы от 18,6±0,71 до 23,3±2,15 т/га. Наименьший урожай получили у сортов Западная и Балтика. Во втором укосе выделился образец Hja 2303 из Финляндии (5,8±0,32 т/га) (рис. 3). По суммарному урожаю зеленой массы в двух укосах образцы (кроме сортов Западная и

Балтика) различались мало. Самый низкий урожай получили у сортов Западная и Балтика. В 2019 году урожайность зеленой массы в первом укосе образца Hja 2302 превзошла остальные (19,1±0,71 т/га); ему немного уступил дикорастущий образец из Карелии к-49911 (18,1±0,23 т/га) (рис.2).

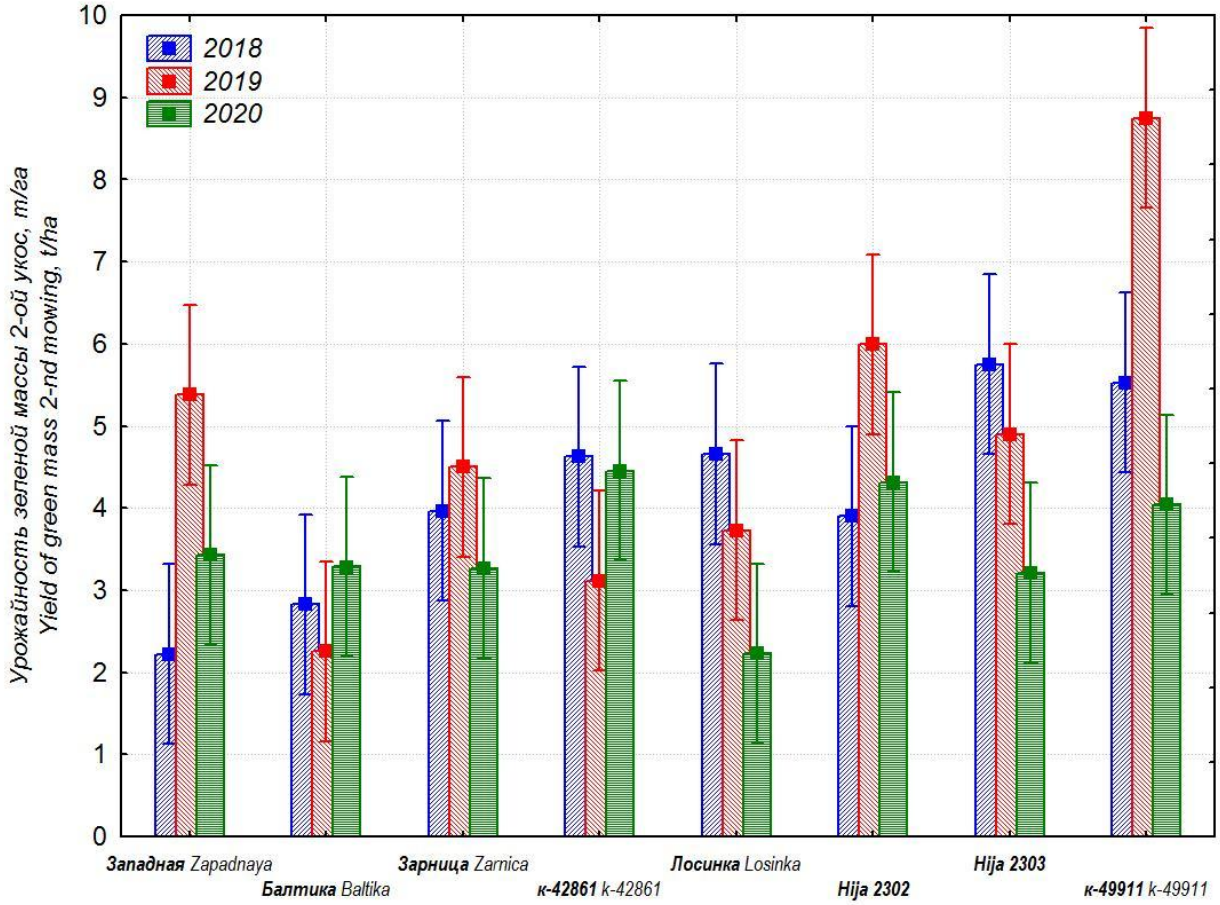


Рис.3. Урожайность зеленой массы овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.), второй укос. Белогорка. 2018-2020 гг.

Продуктивность обоих образцов за два укоса превзошла, все остальные образцы, и составила 25-27 т/га. В 2020 году коммерческий образец из Финляндии к-42861 показал наибольшую продуктивность зелёной массы в первом укосе (19,3±0,48 т/га) (рис.2). В сумме за два укоса этот образец оказался самыми урожайными (около 23,8 т/га). По итогам трехлетних исследований из изученного набора образцов самыми продуктивными оказались дикорастущий образец из Карелии к-49911 и образцы из Финляндии: Коммерческий к-42861, Hja 2302 к-48175 и Hja 2303 к-48176. На орошаемых землях Нижнего Поволжья урожайность зелёной массы была: 17-32 т/га в течение 5-7 лет [16]. Максимально высокие урожаи получали на посевах третьего и четвёртого годов жизни – 28,8-33,1 т/га [10].

Самая высокая семенная продуктивность в 2018 году на посевах второго года жизни отмечена у сортов Лосинка, Зарница и Коммерческого из Финляндии: более 8 ц/га (рис. 4).

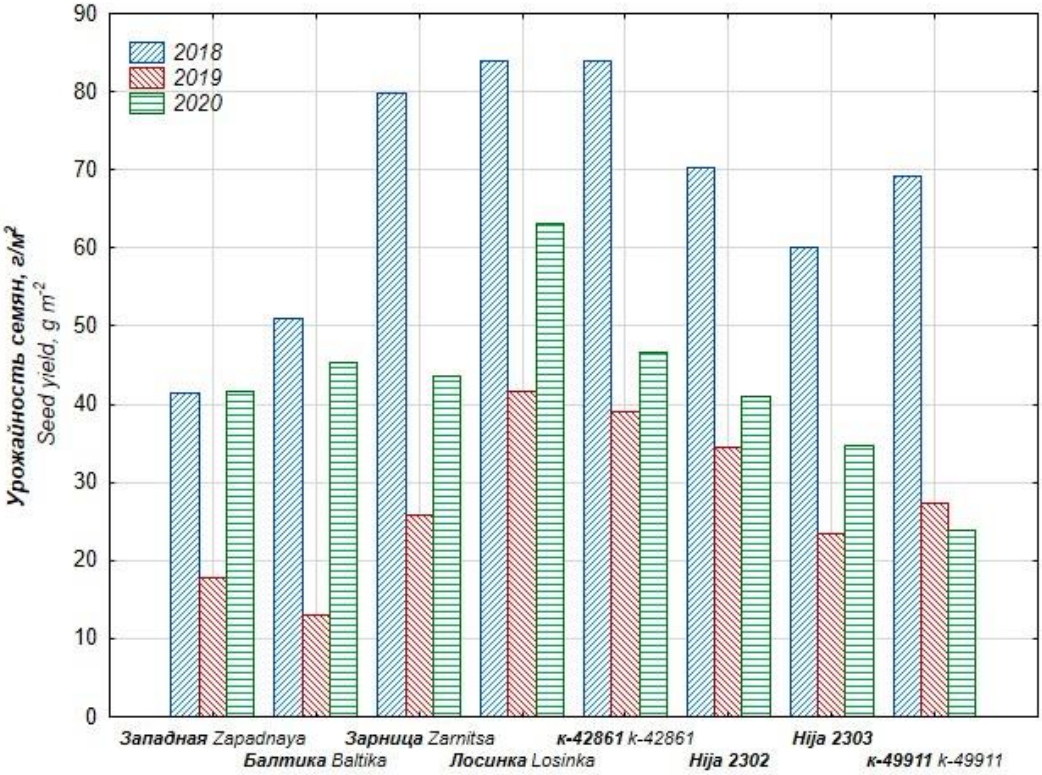


Рис. 4. Семенная продуктивность овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.). Белогорка. 2018-2020 гг.

Столь же высокая урожайность семян была отмечена в Нижнем Поволжье при орошении: 7-15 ц/га в течение 5-7 лет [16]. Меньшая урожайность семян (6-7 ц/га) отмечена у Hja 2302 к-48175, Hja 2303 к-48176 и дикорастущего образца из Карелии к-49911. В 2019 году урожайность семян заметно уменьшилась у всех образцов. Однако наибольшая семенная продуктивность была отмечена у коммерческого сорта из Финляндии (более 6 ц/га), у остальных менее 5 ц/га. В 2020 году семенная продуктивность еще более уменьшилась, и самая высокая урожайность семян (около 4 ц/га) была у сорта Лосинка, Коммерческого и Hja 2302. В Нижнем Поволжье на орошаемых посевах второго и третьего года жизни травостоя отметили самую высокую семенную продуктивность: 6-7 ц/га при весеннем сроке посева [17].

Тенденция к уменьшению урожайности семян с каждым последующим годом жизни была отмечена у всех привлеченных образцов овсяницы тростниковой, но эта тенденция проявлена в меньшей мере у коммерческого сорта к-42861 из Финляндии. По общей урожайности семян за три года коммерческий сорт превзошел все привлеченные в изучение образцы.

Высокая изменчивость погодных условий, в годы изучения во время вегетации растений не отразилась на продуктивности растений. Засуха в мае-июне 2018 на фоне высоких температур во время фаз выхода в трубку, колошения и цветения не оказала заметного негативного влияния на продуктивность. Растения не погибли при температуре ниже -25°С при отсутствии снежного покрова в январе 2017 года, а также не пострадали в январе 2020 года, аномально тёплом, когда средняя температура января составила +0,8°С. Финские исследователи указывают на тенденцию повышения температуры воздуха, которую связывают с глобальным потеплением климата. Они отмечают, что в более высоких широтах

процесс глобального потепления еще более заметен [18]. В таком случае овсяница тростниковая в качестве сельскохозяйственной культуры может продвинуться ближе к северу.

Выводы

По результатам трёхлетнего исследования в группе образцов наибольший урожай зелёной массы имели дикорастущий образец из Карелии к-49911 и образцы из Финляндии: Коммерческий к-42861, Hja 2302 к-48175 и Hja 2303 к-48176. Почвенно-климатические условия Ленинградской области оказались наиболее близкими к условиям мест происхождения финских образцов, поэтому они хорошо проявили себя по продуктивности. За три года изучения из всего набора коммерческий сорт из Финляндии к-42861 превзошел все образцы по комплексу хозяйственно ценных признаков. Все образцы были хорошо адаптированы к неблагоприятным абиотическим факторам. Образцы Hja 2302 к-48175 и Hja 2303 к-48176 из коллекции ВИР имеют относительно мягкие листья в фазу колошения. Этот признак особенно желателен в селекции вида овсяницы тростниковой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kopecký D., Talukder S., Zwyrtková J., Trammel M., Doležel J., Saha M. Inter-morphotype hybridization in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.): exploration of meiotic irregularities and potential for breeding. *Euphytica*, 2019. Vol. 215(5), pp. 1-17. DOI: 10.1007/s10681-019-2419-0.

2. Цвелев Н.Н. Злаки СССР. Л.: Наука, 1976. 788 с.

3. Hultén E., Fries M. Atlas of North European vascular plants, north of the Tropic of Cancer. Vol. 1-3. Konigstein: Koeltz Scientific Books. 1986. 1172 p.

4. Hand M., Cogan N., Stewart A., Forster J. Evolutionary history of tall fescue morphotypes related to molecular phylogenetics of the *Lolium-Festuca* species complex. *BMC Evolutionary Biology*, 2010. Vol. 10(1), pp. 1-17. DOI: 10.1186/1471-2148-10-303.

5. Flora of China. Poaceae. V. 22. Saint Luis, USA: Missouri Botanical Garden Press, 2006. 752 p.

6. Coon J.J., Lion N.J., Raynor E.J., Debinsky D.M., Miller J.R. Schacht W.H. Using adaptive management to restore grassland invaded by tall fescue (*Schenodorus arundinaceus*). *Rangeland Ecology & Management*, 2021. Vol 7, pp. 84-94. DOI:10.1016/j.rama.2021.02.001.

7. Кириллов Ю.И. Овсяница тростниковая (*Festuca arundinacea* Schreb.) // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1974. №52(2). С.146-168.

8. Дронова Т., Бурцева Н. Создание бобово-мятликовых травостоев // *Животноводство России*. 2022. №3. С. 51-53 DOI: 10.25701/ZZR.2022.03.03.010

9. Степанов А.Ф. Формирование одновидовых и смешанных агроценозов овсяницы тростниковидной в условиях Западной Сибири // *Вестник Омского Государственного аграрного университета.* 2020. № 4(40). С. 52-59.

10. Земцова Т.Н. Дронова Н.И. Бурцева Н.И. Питательная и средообразующая ценность новой культуры овсяницы тростниковой на мелиорированных землях Нижнего Поволжья // *Орошаемое земледелие*. 2021. №3. С. 39-42 DOI: 10.35809/2618-8279-2021-3-7

11. Niemeläinen O., Hannukkala A., Jauhiainen L., Hakala K., Niskanen M., Laine, A. Increase in perennial forage yields driven by climate change, at Apukka Research Station, Rovaniemi, 1980-2017. Agricultural and Food Science, 2020. Vol. 29(2), pp. 139-153. DOI: 10.23986/afsci.85141

12. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 646 с.

13. Иванов А.И., Бухтеева А.В., Шутова З.П., Тихомирова И.А., Сосков Ю.Д., Синяков А.А., Базылев Е.Я. Изучение коллекции многолетних кормовых растений. Методические указания. Л.: ВИР. 1985. 48 с.

14. Медведев П.Ф. Новые сорта многолетних трав для Северо-Запада // *Селекция и семеноводство*. 1980. №5. С. 30-31.

15. Бутовский Б.Г. Дикорастущие кормовые растения Сахалина и Курильских островов. Злаки и бобовые культуры. Л.: Наука, 1970. 127 с.

16. Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Ивина И.П., Земляницына С.В. Новая технология возделывания овсяницы тростниковой при комбинированном использовании на семена и корм в Нижнем Поволжье // Орошаемое земледелие. 2022. №1 С. 33-38 DOI: 10.35809/2618-8279-2022-1-7

17. Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Земцова И.П. Особенности технологии возделывания нетрадиционной культуры овсяницы тростниковой при орошении // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. №4(60). С. 60-67. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-05

18. Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M., Laaksonen, A. Trends in the average temperature in Finland, 1847-2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2015. Vol. 29, pp. 1521-1529. DOI:10.1007/s00477-014-0992-2

REFERENCES

1. Kopecký D., Talukder S., Zwyrtková J., Trammel M., Doležel J., Saha M. Inter-morphotype hybridization in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.): exploration of meiotic irregularities and potential for breeding. *Euphytica*, 2019; 215(5): 1-17. DOI: 10.1007/s10681-019-2419-0.

2. Tsvelev N.N. Zlaki SSSR [Cereals of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1976. 788 p. (in Russian).

3. Hultén E., Fries M. Atlas of North European vascular plants, north of the Tropic of Cancer. Vol. 1-3. Konigstein: Koeltz Scientific Books. 1986. 1172 p.

4. Hand M., Cogan N., Stewart A., Forster J. Evolutionary history of tall fescue morphotypes related to molecular phylogenetics of the *Lolium-Festuca* species complex. *BMC Evolutionary Biology*, 201 Vol. 10(1): 1-17. DOI: 10.1186/1471-2148-10-303.

5. Flora of China. Poaceae. V. 22. Saint Luis, USA: Missouri Botanical Garden Press, 2006. 752 p.

6. Coon J.J., Lion N.J., Raynor E.J., Debinsky D.M., Miller J.R. Schacht W.H. Using adaptive management to restore grassland invaded by tall fescue (*Schenodorus arundinaceus*). *Rangeland Ecology & Management*, 2021. Vol. 76: 84-94. DOI:10.1016/j.rama.2021.02.001

7. Kirillov Yu. I. Ovsyanitsa trostnikovaya (*Festuca arundinacea* Schreb.) [Tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.)]. *Trudy po prikladnoy botanike. genetike i selektsii*, 1974. Vol. 52(2): 146-168 (In Russian).

8. Dronova T., Burtseva N. Sozdanie bobovo-myatlikovykh travostoev [Creation of leguminous and bluegrass herbages]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2022. No. 3:51-53 (In Russian) DOI: 10.25701/ZZR.2022.03.03.010

9. Stepanov A.F. Formirovanie odnovidovykh i smeshannykh agrotsenozov ovsyanitsy trostnikovidnoi v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Formation of single-crop and mixed agrocoenoses of tall fescue under the conditions of Western Siberia]. *Vestnik Omskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2020. No 4(40):52-59 (In Russian)

10. Zemtsova T.N. Dronova N.I. Burtseva N.I. Pitatel'naya i sredoobrazuyushchaya tsennost' novoi kul'tury ovsyanitsy trostnikovoi na meliorirovannykh zemlyakh Nizhnego Povolzh'ya [Nutritional and environmental value of a new crop *Festuca Arundinacea L.* on the reclaimed lands of the lower Volga region]. *Oroshaemoe zemledelie*. 2021. No 3: 39-42 DOI: 10.35809/2618-8279-2021-3-7

11. Niemeläinen O., Hannukkala A., Jauhiainen L., Hakala K., Niskanen M., Laine, A. Increase in perennial forage yields driven by climate change, at Apukka Research Station, Rovaniemi, 1980-2017. *Agricultural and Food Science*, 2020. Vol. 29(2): 139-153. DOI: 10.23986/afsci.85141

12. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu [State Register of Selection Achievements Authorized for Use for Production Purposes. Vol.1. Plant varieties]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2022. 646 p. (In Russian)

13. Ivanov A.I., Bukhteeva A.V., Shutova Z.P., Tikhomirova I.A., Soskov Yu.D., Sinyakov A.A., Bazylev E.Ya. Izuchenie kollektsii mnogoletnikh kormovykh rastenii. Metodicheskie ukazaniya [The study of collection of the perennial forage crops. Guidelines]. Leningrad: VIR. 1985. 48 p. (In Russian)

14. Medvedev P.F. Novye sorta mnogoletnikh trav dlya Severo-Zapada [New varieties of perennial grasses for the North-West]. Selektsiya i semenovodstvo. 1980. No. 5: 30-31 (In Russian)

15. Butovsky B.G. Dikorastushchie kormovye rasteniya Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov. Zlaki i bobovye kul'tury [Wild forage plants of Sakhalin and the Kuril Islands. Cereals and legumes]. Leningrad: Nauka, 1970. 127 p. (In Russian)

16. Dronova T.N., Burtseva N.I., Ivina I.P., Zemlyanitsyna S.V. Novaya tekhnologiya vozdelyvaniya ovsyanitsy trostnikovoi pri kombinirovannom ispol'zovanii na semena i korm v Nizhnem Povolzh'e [New technology for cultivation of fescue cane with combined use for seeds and forage]. Oroshaemoe zemledelie. 2022. No.1: 33-38 (In Russian) DOI: 10.35809/2618-8279-2022-1-7

17. Dronova T.N., Burtseva N.I., Zemtsova I.P. Osobennosti tekhnologii vozdelyvaniya netraditsionnoi kul'tury ovsyanitsy trostnikovoi pri oroshenii x_Features of cultivation technology of non-conventional culture of fescue under irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2020. No. 4(60): 60-67 (In Russian) DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-05

18. Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M., Laaksonen, A. Trends in the average temperature in Finland, 1847-2013. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2015. Vol. 29: 1521-1529. DOI:10.1007/s00477-014-0992-2

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

УДК 631.171; 551.58 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-69-79

ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ GEFF ТАДЖИКИСТАН И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА СОВРЕМЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

П.Н. Джабборов[1],канд. техн. наук, Ш.С. Хомидов[3]
Б.Р. Ахмадзода[2] ,д-р техн. наук,

[1]Научный центр инновационных технологий и механизации сельского хозяйства Таджикской академии сельскохозяйственных наук (ТАСХН), Республика Таджикистан;
[2]Хорогский государственный Университет им. М. Назаршоева, Республика Таджикистан;
[3]Государственная инспекция по техническому надзору сельскохозяйственной техники Министерства сельского хозяйства Республики Таджикистан

Актуальность темы исследований связана с проблемой повышения технического уровня производства продукции растениеводства в Республике Таджикистан. Целью исследований является анализ статистических материалов и оценка деятельности инвестиционной программы GEFF Таджикистан в повышении технического уровня производства продукции растениеводства, разработка путей адаптации импортируемых технических средств и новых машин с учётом зональных особенностей их эксплуатации. Объектами исследований являются опубликованные результаты исследований учёных, статистические материалы по отрасли механизации АПК Таджикистана для анализа деятельности инвестиционных программ на примере GEFF Таджикистан и её роль в обеспечении аграрного сектора страны современными техническими средствами. Предметом исследований являются оценочные показатели технического уровня растениеводства и их влияние на показатели энергоэффективности и экологической безопасности технологий производства сельскохозяйственной продукции. Установлено, что начиная с 2000 года импорт по самым востребованным видам техники – тракторам и почвообрабатывающим машинам, увеличивается. В Таджикистане с постепенным улучшением и развитием сферы предпринимательства, соответственно, увеличивается импорт товаров, в том числе современной сельскохозяйственной техники из Российской Федерации, Республики Беларусь и других стран, что играет большую роль в повышении уровня механизации в стране. За 2019-2022 гг. путем реализации в Таджикистане энергосберегающих технологий и технических средств, в частности современных экономичных тракторов и мини тракторов, экскаваторов, погрузчиков и сельскохозяйственной техники с меньшей металлоемкостью было предотвращено использование первичной энергии в размере 48 275,3 ГДж, тем самым избежали использование первичной энергии - 13 409,8 МД, экономия воды была достигнута почти на 2,7 млн. кубических метров.

Ключевые слова: технические средства, растениеводство, инвестиционная программа, техническое обеспечение, уровень механизации, энергоэффективность, экологическая безопасность, технология производства сельхозпродукции.

Для цитирования: Джабборов П.Н., Ахмадзода Б.Р., Хомидов Ш.С. Оценка реализации инвестиционной программы GEFF-Таджикистан и её роль в обеспечении растениеводства современными техническими средствами // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С. 69-80

EVALUATION OF GEFF TAJIKISTAN INVESTMENT PROGRAM AND ITS ROLE IN PROVIDING THE CROP PRODUCTION WITH MODERN EQUIPMENT

P.N. Jabborov[1], PhD (Tecnnical sciences), B.R. Ahmadzoda[2], Doctor of technical sciences, professor, Sh.S. Homidov[3]

[1]Research Center of Innovative Technologies and Mechanization of Agriculture under the Tajik Academy of Agricultural Sciences (TAAS), Republic of Tajikistan;

[2]Khorog State Univercity named after M. Nazarshoev, Republic of Tajikistan;

[3]State Inspection for Technical Control of Agricultural Machinery under the Ministry of Agriculture of the Republic of Tajikistan

The relevance of the research topic is associated with the challenge of improving the technical level of crop production in the Republic of Tajikistan. The research objectives were to analyse the statistics and evaluate the activities of GEFF Tajikistan investment program in addressing this challenge and to suggest the ways to adapt the imported and newly designed machines to the zonal features of their operation. The study objects were the published research results, statistical materials related to mechanization issues of the agro-industrial complex of Tajikistan to estimate the activities of investment programs on the example of GEFF Tajikistan and its role in supplying the agricultural sector of the country with modern machines and equipment. The study subject was the evaluation indicators of the technical level of crop production and their impact on energy efficiency and environmental safety of agricultural production technologies. The study revealed that since 2000 the imports of much-in-demand types of machinery – tractors and tillage machines – had been increasing. Currently Tajikistan features the gradual progress and improvement of entrepreneurship and, correspondingly, the higher import rates of goods, including modern agricultural machinery from the Russian Federation, the Republic of Belarus and other countries that plays a major role in improving the level of mechanization in the country. In 2019-2022, owing to the introduction of energy-efficient technologies and the sales of modern fuel-saving tractors and mini-tractors, excavators, loaders and agricultural machinery with lower metal content, primary energy use of 48 275.3 GJ was avoided, thereby primary energy use of 13 409.8 MJ, water savings of almost 2.7 million cubic meters were achieved in Tajikistan.

Key words: technical means, crop production, investment program, technical support, mechanization level, energy efficiency, environmental safety, agricultural production technology

For citation: Jabborov P.N., Ahmadzoda B.R., Homidov Sh.S. Evaluation of GEFF Tajikistan investment program and its role in providing the crop production with modern equipment. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 69-80. (In Russian)

Введение

Республика Таджикистан богата земельными, водными и другими природными ресурсами. Благоприятные почвенно-климатические условия и современные методы ведения сельского хозяйства позволяют фермерам получить довольно высокие урожаи сельскохозяйственных культур, увеличивать доходы и тем самым повысить уровень жизнедеятельности.

Несмотря на то, что всего 7% территории республики занимают равнины, здесь размещены земли под возделыванием многих видов сельскохозяйственных культур стратегического назначения, в том числе хлопчатника, зерновых, бобовых, овощных культур и плодовых деревьев. В стране весьма значительно совершенствуются специализация и размещение отраслей сельского хозяйства, в связи с чем, усиливается роль планирования во внутрихозяйственном развитии общественного производства.

Согласно статистическим данным ежегодно население Республики Таджикистан увеличивается на 2,5 % (240 тыс. - 250 тыс. чел.). В первой половине 2022 года население Республики Таджикистан достигло 10 млн. человек. Постепенное увеличение численности населения означает, что используя существующие водно-земельные, трудовые и социально-экономические ресурсы необходимо обеспечить потребность такого количества людей продовольствием. Это имеет особое значение при ограниченной площади возделывания сельскохозяйственных культур и негативном действии глобального потепления, особенно засухи.

За последнее десятилетие наряду с другими странами в Республике Таджикистан экстремальные погодные явления, усугубляемые климатическими изменениями, создают значительные трудности для сельскохозяйственных предприятий, занимающихся возделыванием сельскохозяйственных культур. Обусловленные этим финансовые и экономические потери создают для отрасли значительные проблемы в сфере жизнедеятельности населения.

Поэтому для повышения эффективности возделывания каждой сельскохозяйственной культуры с целью дальнейшего увеличения объема производства сельскохозяйственной продукции имеет большое значение рациональное использование в хозяйствах страны средств механизации, разработанных на основе принципа оптимальной конструкции и энергосбережения.

Актуальные вопросы технического обеспечения почвозащитных энергосберегающих технологий в различных зонах земледелия подробно рассмотрены в монографии профессоров Агеева Л.Е. и Эвиева В.А.

Вопросами технического оснащения растениеводства Таджикистана и рационального использования технических средств в сельском хозяйстве посвящены труды профессоров Джабборова Н.И., Ахмадова Б.Р. и других учёных [2-5].

Проблемам энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур, энергооценке отдельных технологических процессов и технических средств посвятили свои труды профессора Джабборов Н.И., Ахмадов Б.Р.; кандидаты технических

наук Сафаров М., Насреддинов А.С., Шералиев Н.Ш., Тагоймуродов А.Т., Сайфов Н.Дж., Миракилов Дж.Х., Джабборов П.Н., Ходжиев Б.Б. и другие.

Анализ исследований и деятельности инвестиционных компаний показывает, что отсутствует оценка эффективности деятельности инвестиционной программы GEFF-Таджикистан ее роль в обеспечении растениеводства современными техническими средствами, не исследованы вопросы адаптации импортируемых технических средств к почвенно-рельефных и климатических условий республики в глобальных изменений основных факторов окружающей среды.

Материалы и методы

Целью исследований, является анализ статистических материалов и оценка деятельности инвестиционной программы GEFF-Таджикистан в повышении технического уровня производства продукции растениеводства, разработка путей адаптации импортируемых технических средств и новых машин с учётом зональных особенностей их эксплуатации. Объектами исследований являются опубликованные результаты исследований учёных, статистические материалы по отрасли механизации АПК Таджикистана для анализа деятельности инвестиционных программ в примере GEFF-Таджикистан и его роль в обеспечении аграрного сектора страны современными техническими средствами. Предметом исследований являются оценочные показатели технического уровня растениеводства и их влияние на показатели энергоэффективности и экологической безопасности технологий производства сельскохозяйственной продукции.

При проведении настоящих исследований применялись аналитические методы и обобщения опубликованных результатов работы учёных, а также интернет-ресурсы и статистические материалы – отчёт Программы финансирования зеленой экономики Таджикистана, посвященных проблеме разработки или формирования технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Для установления взаимосвязи современных технических средств с зелеными технологиями, проведён анализ нынешнего состояния реализации в Республике Таджикистан экологических проектов и роль современной сельскохозяйственной техники в их успешном выполнении, в частности, деятельность инвестиционных программ в примере GEFF-Таджикистан и её роль в обеспечении аграрного сектора страны современными техническими средствами.

Результаты и обсуждение

Техническое обеспечение аграрного сектора. Общеизвестно, что после распада СССР и приобретения Республикой Таджикистан в 1991-м году государственной независимости в стране произошли долгие острые политические события, в масштабе всей республики произошел резкий спад материально-технической базы сельского хозяйства вследствие гражданской войны.

В дальнейшем в результате постепенного укрепления государственной власти Правительство Республики Таджикистан во главе с Президентом Республики Таджикистан Эмомали Рахмоном, обеспечило улучшение инвестиционной среды для местных предпринимателей и зарубежных импортёров, которые в настоящее время занимаются импортом различных видов сельскохозяйственной техники.

Благодаря успешной работе ряда отечественных компаний по импорту и местному производству сельскохозяйственной техники в Республике Таджикистан год за годом увеличивается количество тракторов и других видов технических средств (табл. 1 , рис. 1).

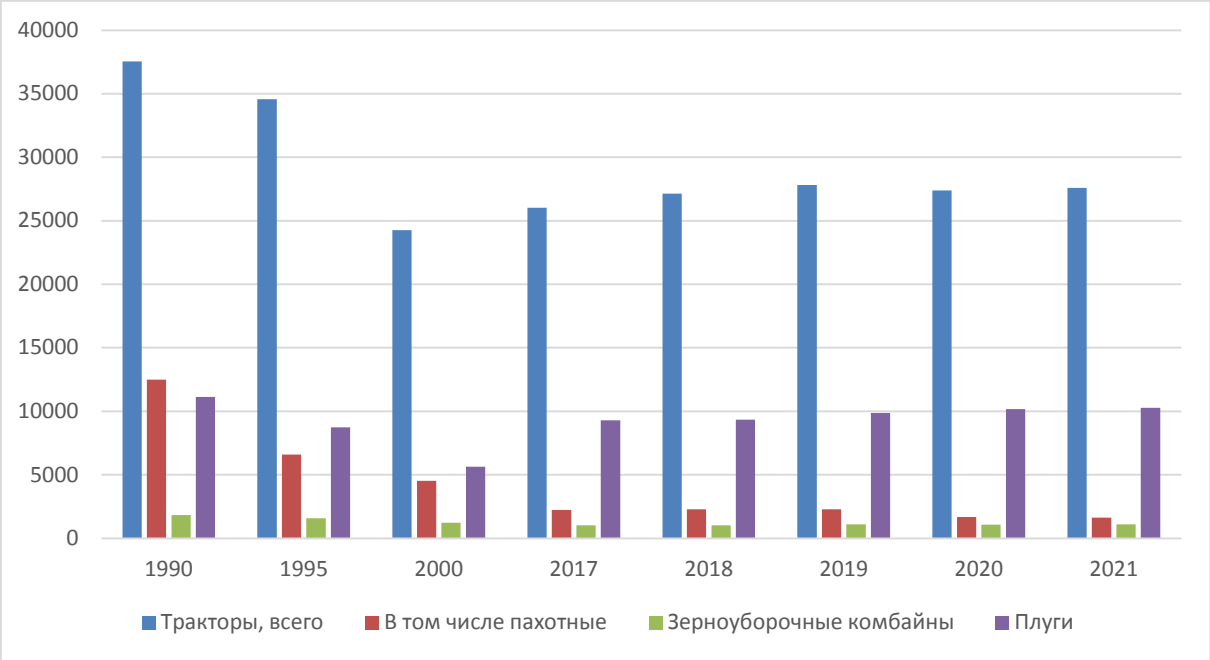


Рис. 1. Количество основных видов технических средств в аграрном секторе Республики Таджикистан в разные годы

Анализ диаграммы 1 показывает, что начиная с 2000 года, наблюдается увеличение импорта по самым востребованным видам техники - тракторам и почвообрабатывающим машинам (плугам).

Таблица 1

Импорт технических средств в Республику Таджикистан за 2021 год (по состоянию на 01 января 2022 г.)

№	Наименование технических средств	Количество импортированной техники, ед.		+; -
		2021 год	2020 год	
1.	Тракторы	620	506	+114
2.	Зерноуборочные комбайны	79	43	+36
3.	Тракторные прицепы	3	7	-4
4.	Косилки разные	192	200	-8
5.	Почвофрезы (роторные культиваторы)	121	191	-70
6.	Молотилки зерна	48	29	+19
7.	Культиваторы	1	-	+1
8.	Пресс-подборщики	87	71	+16
9.	Мотоблоки	173	262	-89
10.	Плуги	155	343	-188
11.	Опрыскиватели	50	47	+3

12.	Разбрасыватели минеральных удобрений	20	6	+14
13.	Картофелесажалки	32	8	+24
14.	Картофелекопатели	16	18	-2
15.	Культиваторы для обработки междурядий картофеля	16	-	+16
16.	Ямокопатели	11	13	-2
17.	Сеялки хлопковые	20	-	+20
18.	Грабли-ворошилки	32	-	+32
19.	Сеялки пневматические для точного высева	17	-	+17
20.	Бороны дисковые	-	3	-3
21.	Канавокопатели	-	3	-3
22.	Кормоуборочные комбайны	1	2	-1
22.	Культиваторы-окучники	-	6	-6
24.	Грабли	8	-	+8
	Всего:	1703	1758	-56
Вспомогательная техника				
1.	Экскаваторы	125	107	+18
2.	Фронтальные погрузчики	132	82	+50
3.	Бульдозеры	3	4	-1
4.	Дорожная техника	10	9	+1
	Всего:	270	198	+72
ИТОГО, ед.		1973	1960	+12

Анализируя таблицу 1 можно заключить, что в 2021 году в Республику Таджикистан было импортировано больше тракторов, зерноуборочных комбайнов, зерновых молотилок, разбрасывателей минеральных удобрений, картофелесажалок и др.

В таблице 2 приведена обеспеченность аграрного сектора Республики Таджикистан некоторыми видами технических средств на 01.01.2022 г.

Таблица 2

Обеспеченность* аграрного сектора Республики Таджикистан некоторыми видами технических средств на 01.01.2022 г.

№	Наименование технических средств	Общее количество, ед.	Из них в рабочем состоянии, ед.	Готовность, %
1.	Тракторы, всего	27590	21244	77
	в том числе гусеничные	1616	1066	66
2.	Плуги	10280	8944	87
3.	Сеялки зерновые	356	313	88
4.	Комбайны зерноуборочные	1098	911	83

5.	Сеялки хлопковые	1888	1680	89
6.	Культиваторы	3390	2881	85
7.	Тракторные прицепы	8597	7050	82
8.	Комбайны кормоуборочные	142	97	68
9.	Пресс-подборщики	801	721	90
10.	Картофелесажалки	190	180	95
11.	Картофелекопатели	466	387	83

* - данные Министерства сельского хозяйства Республики Таджикистан

Анализ данных таблицы 2 показывает, что из всего количества тракторов (27590 ед.) в работоспособном состоянии находятся 77 % (21244 ед.) и эксплуатируются в аграрном секторе экономики.

В Республике Таджикистан в конце 80-х годов прошлого века уровень обеспеченности по тракторам варьировал в пределах 70-75 %. Приведенные выше данные свидетельствуют, что сельскохозяйственное производство достаточно обеспечено тракторами. К тому же машинно-тракторный парк хозяйств республики каждый год пополняется новыми и современными средствами механизации (оснащенные современными двигателями с высокой топливной экономичностью, оснащенные современными системами электроники и электронного управления, высокопроизводительные, легкие, маневренные и др.).

Доступ фермеров к зеленым технологиям. Одним из ключевых направлений технологического развития в мире является развитие так называемых «зеленых» технологий, которые позволяют обеспечить необходимый уровень экономического роста без создания дополнительных экологических рисков. Другими словами, зелёные технологии – это разные решения, которые способствуют грамотно управлять ресурсами и снизить негативную нагрузку на природу.

Такие технологии позволяют организовать нашу работу и быт так, чтобы внести свой вклад в очищение планеты. Существуют общие принципы экологических технологий:

- устойчивое развитие общества и повышение общего благосостояния;
- забота о будущих поколениях;
- использование природы без истощения ресурсов;
- ответственный подход к производству товаров;
- экономия энергии в разных отраслях производства, сельского хозяйства, культуры и урбанистики;
- ослабление климатических изменений и снижение общественной уязвимости к ним [9].

По нашим наблюдениям и проведенным в 2022 году исследованиям, значительная часть импортированной сельскохозяйственной техники неразрывно связана с действующими в Республике Таджикистан инвестиционными программами, которые реализовываются как по всей республике, так и по отдельным пилотным районам.

К примеру, таких инвестиционных программ, можно отнести «Программу финансирования зеленой экономики Таджикистана» (коротко GEFF-Таджикистан),

финансируемая Европейским Банком Реконструкции и Развития и реализующимся в сотрудничестве с Европейским Союзом, Зеленым Климатическим Фондом и Республикой Южной Кореи.

Данная программа финансирует те современные технологии, которые способствуют экономии воды, энергии и ресурсов в размере 20 % и более по сравнению с традиционными технологиями.

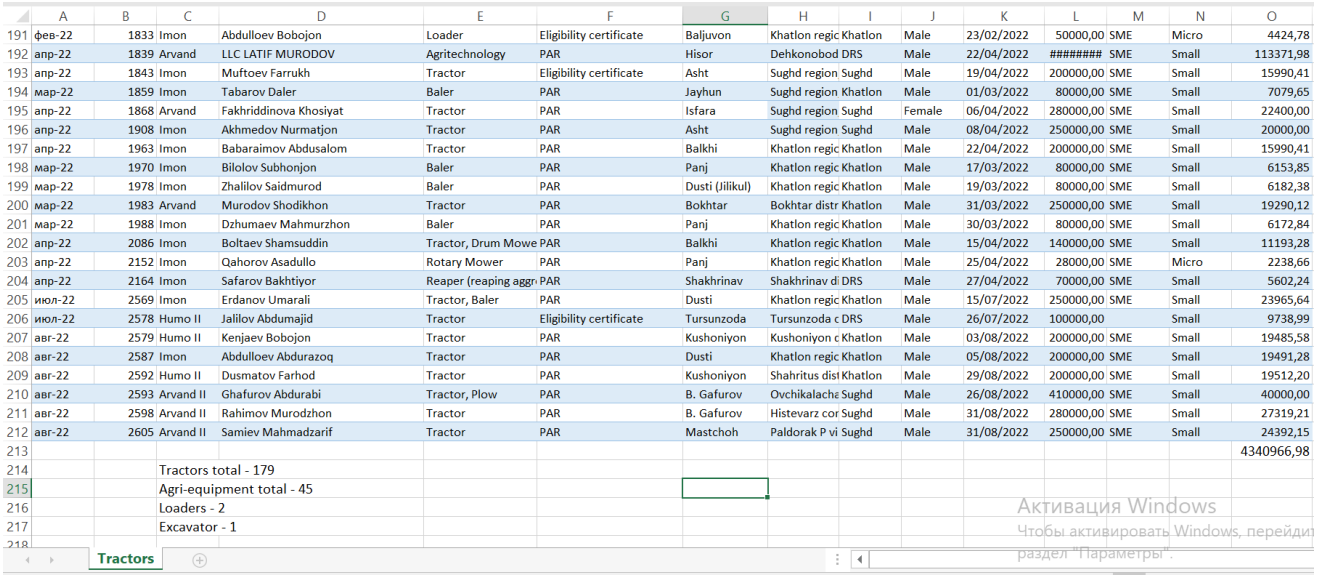
Инвестиционная программа GEFF-Таджикистан по вопросу приобретения и использования техники предъявляет следующие критерии [10]:

- удельный расход топлива двигателя трактора должен составлять не более 233,57 г/кВт·ч;
- минимальный экологический стандарт выхлопных газов Stage III, Tier 3;
- приобретаемая сельскохозяйственная техника должна быть абсолютно новой.

На 1 октября 2022 года проектом GEFF-Таджикистан были достигнуты следующие результаты:

- всего выдано безвозмездных грантов в размере больше 2 млн. долларов США;
- 530 проектов (субзаемщиков) получили грантовую поддержку, средняя сумма гранта составила 3900 долларов США;
- 8 % бенефициаров составляют женщины.

На рисунке 2 приведены объёмы финансирования и количество приобретенной техники в рамках GEFF-Таджикистан.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
191	фев-22	1833	Imon	Abdulloev Bobojon	Loader	Eligibility certificate	Baljuvon	Khatlon regic	Khatlon	Male	23/02/2022	50000,00	SME	Micro	4424,78
192	апр-22	1839	Arvand	LLC LATIF MURODOV	Agritechnology	PAR	Hisor	Dehkonobod	DRS	Male	22/04/2022	########	SME	Small	113371,98
193	апр-22	1843	Imon	Muftoev Farrukh	Tractor	Eligibility certificate	Asht	Sughd region	Sughd	Male	19/04/2022	200000,00	SME	Small	15990,41
194	мар-22	1859	Imon	Tabarov Daler	Baler	PAR	Jayhun	Sughd region	Khatlon	Male	01/03/2022	80000,00	SME	Small	7079,65
195	апр-22	1868	Arvand	Fakhriddinova Khosiyat	Tractor	PAR	Isfara	Sughd region	Sughd	Female	06/04/2022	280000,00	SME	Small	22400,00
196	апр-22	1908	Imon	Akhmedov Nurmatjon	Tractor	PAR	Asht	Sughd region	Sughd	Male	08/04/2022	250000,00	SME	Small	20000,00
197	апр-22	1963	Imon	Babaraimov Abdusalom	Tractor	PAR	Balkhi	Khatlon regic	Khatlon	Male	22/04/2022	200000,00	SME	Small	15990,41
198	мар-22	1970	Imon	Bilolov Subhonjon	Baler	PAR	Panj	Khatlon regic	Khatlon	Male	17/03/2022	80000,00	SME	Small	6153,85
199	мар-22	1978	Imon	Zhalilov Saidmurod	Baler	PAR	Dusti (Jilikul)	Khatlon regic	Khatlon	Male	19/03/2022	80000,00	SME	Small	6182,38
200	мар-22	1983	Arvand	Murodov Shodikhon	Tractor	PAR	Bokhtar	Bokhtar distr	Khatlon	Male	31/03/2022	250000,00	SME	Small	19290,12
201	мар-22	1988	Imon	Dzhumaev Mahmurzhon	Baler	PAR	Panj	Khatlon regic	Khatlon	Male	30/03/2022	80000,00	SME	Small	6172,84
202	апр-22	2086	Imon	Boltaev Shamsuddin	Tractor, Drum Mowe	PAR	Balkhi	Khatlon regic	Khatlon	Male	15/04/2022	140000,00	SME	Small	11193,28
203	апр-22	2152	Imon	Qahorov Asadullo	Rotary Mower	PAR	Panj	Khatlon regic	Khatlon	Male	25/04/2022	28000,00	SME	Micro	2238,66
204	апр-22	2164	Imon	Safarov Bakhtiyor	Reaper (reaping aggr	PAR	Shakhrinav	Shakhrinav di	DRS	Male	27/04/2022	70000,00	SME	Small	5602,24
205	июл-22	2569	Imon	Erdanov Umarali	Tractor, Baler	PAR	Dusti	Khatlon regic	Khatlon	Male	15/07/2022	250000,00	SME	Small	23965,64
206	июл-22	2578	Humo II	Jalilov Abdumajid	Tractor	Eligibility certificate	Tursunzoda	Tursunzoda c	DRS	Male	26/07/2022	100000,00		Small	9738,99
207	авг-22	2579	Humo II	Kenjaev Bobojon	Tractor	PAR	Kushoniyon	Kushoniyon c	Khatlon	Male	03/08/2022	200000,00	SME	Small	19485,58
208	авг-22	2587	Imon	Abdulloev Abdurazoq	Tractor	PAR	Dusti	Khatlon regic	Khatlon	Male	05/08/2022	200000,00	SME	Small	19491,28
209	авг-22	2592	Humo II	Dusmatov Farhod	Tractor	PAR	Kushoniyon	Shahritus dist	Khatlon	Male	29/08/2022	200000,00	SME	Small	19512,20
210	авг-22	2593	Arvand II	Ghafurov Abdurabi	Tractor, Plow	PAR	B. Gafurov	Ovchikalacha	Sughd	Male	26/08/2022	410000,00	SME	Small	40000,00
211	авг-22	2598	Arvand II	Rahimov Murodzhon	Tractor	PAR	B. Gafurov	Histevarz cor	Sughd	Male	31/08/2022	280000,00	SME	Small	27319,21
212	авг-22	2605	Arvand II	Samiev Mahmadzarif	Tractor	PAR	Mastchoh	Paldorak P vi	Sughd	Male	31/08/2022	250000,00	SME	Small	24392,15
213															4340966,98
214			Tractors total - 179												
215			Agri-equipment total - 45												
216			Loaders - 2												
217			Excavator - 1												

Рис. 2. Объем финансирования и количество приобретенной техники в рамках GEFF-Таджикистан [10]

Анализ объёма финансирования и количество приобретенной техники показывает (рис. 3), что начиная с января 2020 года по 1 октября 2022 года в рамках GEFF-Таджикистан 530 бенефициарам была оказана грантовая поддержка в размере 30% от стоимости техники. Из них 227 чел. получили новые технические средства, в том числе 179 чел. - трактора, 2 чел. – фронтальные погрузчики, 1 чел. - экскаватор и 45 чел. – навесные оборудования на общую сумму 4 млн. 340 тыс. 967 долларов США.

Анализируя связь вышеуказанные цифры в таблицах 1-3 можно сделать вывод, о том, что в рамках GEFF Таджикистан в республику было импортировано 227 единиц технических средств, в т. ч. 179 тракторов, что составляет 16 % от общего импорта тракторов в республику (1126 ед.). Остальная доля импорта тракторов принадлежит другим параллельным инвестиционным проектам, таким как CASP (финансируемый Международным Фондом развития сельского хозяйства, IFAD), Проект коммерциализации сельского хозяйства (финансируемый Всемирным Банком); государственным структурам ГУП «Таджикагролизинг», ГУП «Мадад» и отдельным индивидуальным заказчикам. Анализ инвестиционных проектов показывает, что GEFF-Таджикистан вносит большой вклад в укреплении материально-технической базы хозяйств АПК республики новыми техническими средствами, обеспечивая экономию энергоресурсов, и тем самым способствуя снижению выброса выхлопных газов (табл. 3).

Таблица 3

Значения некоторых показателей энергоэффективности в рамках GEFF Таджикистан [10]

Показатели экономии энергии	В течение 2-го квартала 2021 г. (к примеру)	За весь период деятельности (январь 2020 по октябрь 2022)
Предотвращение использования первичной энергии (ГДж/год)	7281,4	48275,3
Избежание использования первичной энергии (МДж/год)	2 022 611	13 409 805
Предотвращение выброса парниковых газов (т/год)	391278	2 971,866
Экономия водных ресурсов ($м^3$/год)	820122	2 693 733,024
Экономия ресурсов/материалов (т/год)	211,039	1279,473

Данные таблицы 3 позволяют заключить, что за последние три года путем реализации в Таджикистане энергосберегающих технологий и соответствующих технических средств, в частности современных экономичных тракторов и мини тракторов, экскаваторов, погрузчиков и сельскохозяйственной техники с меньшей металлоемкостью, было предотвращено использование первичной энергии в размере 48275,3 ГДж. Это позволило обеспечить экономии первичной энергии в размере 13409,8 МДж. При этом экономия воды была достигнута почти на 2,7 млн. кубических метров, а экономия материалов – почти на 1280 т.

Выводы

В Таджикистане с постепенным улучшением и развитием сферы предпринимательства увеличивается импорт товаров, в том числе современной сельскохозяйственной техники, что играет большую роль в повышении уровня механизации растениеводства в стране.

Значительная доля сельскохозяйственной техники импортируется согласно заказам бенефициаров (клиентов) инвестиционных проектов, которые сопровождаются грантовыми поддержками бенефициаров с целью их мотивации.

Использование в сельском хозяйстве новых и современных технических средств способствует выполнению агротехнических мероприятий возделывания сельскохозяйственных культур в оптимальные агротехнические сроки, с высокой производительностью, с минимальными выбросами вредных газов в атмосферу экономическими затратами.

Деятельность инвестиционной программы GEFF-Таджикистан дает значительный толчок аграрному сектору страны в плане достижения значительной экономии энергии, воды и ресурсов, а также в укреплении материально-технической базы в сельском хозяйстве.

Все эти достижения в определенной степени способствуют смягчению последствий климатических изменений и адаптации неблагоприятным факторам внешней среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В.А., Артемьев В.С., Васильева А.А. Проблемы внедрения энергосберегающих технологий в АПК // *Стратегия устойчивого развития регионов России.* 2015. № 28. С. 7-12

2. Ахмадов Б.Р. Контроль качества работы комбинированного агрегата Т-4А+КМ-2,4 посредством эксплуатационных допусков на агротехнические параметры / *Модель круглогодичного сельскохозяйственного производства*. Материалы научно-практической конференции. Душанбе: ТНИИЭОСХП. 2006. Часть 1. С. 126.

3. Дегтярев Д.А. Особенности интеграции информационных технологий и систем машин в целях комплексной механизации растениеводства // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. №9 (191). С.115-123.

4. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Дементьев А.М. Классификация критериев эффективности и их использование при оптимизации эксплуатационных показателей тяговых МТА. СПб: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2010. 104 с.

5. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Эвиев В.А., Джабборов П.Н. Оптимизация ширины захвата МТА на стадии проектирования // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2008. № 10. С. 30-31.

6. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Дементьев А.М. Повышение экологической безопасности мобильных энергетических средств / *Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения*. Материалы VII международной научно-практической конференции, 17-19 мая 2011 г., Санкт-Петербург-Пушкин. Санкт-Петербург: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2011. Т.1. С. 43-46.

7. Сернецкая А.О. Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве / *Научные исследования и разработки студентов*: материалы III Междунар. студенч. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 31 март 2017 г.). Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. С. 223-227.

8. Зелёные технологии, которые помогают сохранить природу [Электронный ресурс] Режим доступа: https://invlab.ru/texnologii/zelyonye-tehnologii/ (дата обращения 26.12.2022)

9. Отчет Программы финансирования зеленой экономики Таджикистана. Раздел энергоэффективности. Душанбе. 2022. 123 с.

10. Шкрабак В.С., Демко П.В., Ветушко В.И. Анализ и оценка труда механизаторов на посевах гибридных участков технических культур // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. № 39. С. 401-404.

REFERENCES

1. Alekseev V.A., Artem'ev V.S., Vasil'eva A.A. Problemy vnedreniya energosberegayushchikh tekhnologii v APK [Problems of introducing energy-saving technologies in the agro-industrial complex]. *Strategiya ustoichivogo razvitiya regionov Rossii.* 2015. No. 28: 7-12 (In Russian)

2. Akhmadov B.R. Kontrol' kachestva raboty kombinirovannogo agregata T-4A+KM-2,4 posredstvom ekspluatatsionnykh dopuskov na agrotekhnicheskie parametry [Quality control of the combined unit T-4A + KM-2.4 by means of operational tolerances for agrotechnical parameters]. *Model' kruglogodichnogo sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva* [Model of year-round agricultural production]. Proc. Sci. Prac. Conf. Dushanbe: TNIIEOSKhP. 2006. Part 1: 126 (In Russian)

3. Degtyarev D.A. Osobennosti integratsii informatsionnykh tekhnologii i sistem mashin v tselyakh kompleksnoi mekhanizatsii rastenievodstva [The peculiarities of integration of information technologies and machinery systems for integrated crop production mechanization]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2020. No. 9 (191): 115-123 (In Russian)

4. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Dementev A.M. Klassifikatsiya kriteriev effektivnosti i ikh ispol'zovanie pri optimizatsii ekspluatatsionnykh pokazatelei tyagovykh MTA [Classification of efficiency criteria and their use in optimizing the performance of traction/implement systems]. Saint Petersburg: GNU SZNIIMESKh Rossel'khozakademii, 2010. 104 p. (In Russian)

5. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Eviev V.A., Dzhabborov P.N. Optimizatsiya shiriny zakhvata MTA na stadii proektirovaniya [Optimizing the working width of a tractor/implement system at the design stage]. *Traktory i sel'skokhozyaistvennye mashiny*. 2008. No. 10: 30-31 (In Russian)

6. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Dement'ev A.M. Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti mobil'nykh energeticheskikh sredstv [Improvement of ecological safety of mobile power units]. *Ekologiya i sel'skokhozyaistvennye tekhnologii: agroinzhenernye resheniya* [Ecology and farming technologies: agroengineering approaches]. Proc. VII Int. Sci. Prac. Conf., 17-19 May 2011, Saint Petersburg-Pushkin. Saint Petersburg: GNU SZNIIMESKh Rossel'khozakademii, 2011. Vol.1: 43-46 (In Russian)

7. Sernetskaya A.O. Energosberegayushchie tekhnologii v sel'skom khozyaistve [Energy-saving technologies in agriculture]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki studentov* [Scientific research and development of students]. Proc. III Int. Sci. Prac. Conf. of Students (Cheboksary, 31 March 2017). Cheboksary: Interaktiv plyus. 2017: 223-227 (In Russian)

8. Zelenye tekhnologii, kotorye pomogayut sokhranit' prirodu [Green technologies that help preserve nature] Available at https://invlab.ru/texnologii/zelyonye-tehnologii/ (accessed 26.12.2022) (In Russian)

9. Otchet Programmy finansirovaniya zelenoi ekonomiki Tadzhikistana. Razdel energoeffektivnosti [Tajikistan Green Economy Financing Program report. Energy efficiency section]. Dushanbe. 2022. 123 p. (In Russian)

10. Shkrabak V.S., Demko P.V., Vetushko V.I. Analiz i otsenka truda mekhanizatorov na posevakh gibridnykh uchastkov tekhnicheskikh kul'tur [Analysis and evaluation of working conditions on crops of hybrid of machine areas of industrial crops]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. No. 39: 401-404 (In Russian)

УДК 685.382.2 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-80-93

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ЗАЩИТЫ

В.И. Шамонин, канд.техн. наук, А.М. Захаров, канд.техн. наук
С.В. Чугунов,

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия.

В настоящее время в производстве органической продукции оборудование для обработки семенного картофеля должно соответствовать требованиям охраны труда и экологической безопасности, а также обеспечивать снижение расхода средств защиты растений на его обработку с сохранением показателей качества. В статье представлена конструкция установки для обработки семенного картофеля в комплекте с роликовым инспекционным столом УОСК-15, которая позволяет в специальной камере проводить обработку клубней мелкодисперсионным распылом, а в условиях хранилища – биологическими средствами защиты растений. В результате решения задачи оптимизации установлено, что при оптимальной производительности установки рациональными являются следующие режимы работы камеры обработки семенного картофеля: подача клубней картофеля $Q_п$=8,5-10 т/ч (рабочая частота 10-12 Гц); скорость роликового полотна инспекционного стола $V_Р$ =0,5 м/с (рабочая частота 40-45 Гц); расход рабочей жидкости, $Н_Р$ =1,5-1,6 л/мин; показатель степени эффективности использования рабочей жидкости составил $\lambda_н$ =100%. При этом максимальное значение покрытия поверхности клубня картофеля биологическим средством защиты (БисолбиСан, эталон, основной препарат при исследованиях) составляет 92,5 - 99,3% и находится в пределах агротехнических требований (более 90%).

Ключевые слова: биологические средства защиты; семенной картофель, установка для обработки, рациональные параметры; расход рабочей жидкости; полнота обработки.

Для цитирования: Шамонин В.И., Чугунов С.В., Захаров А.М. Рациональные параметры и режимы работы установки для обработки семенного картофеля биологическими средствами защиты // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С.80-93

RATIONAL PARAMETERS AND OPERATING MODES OF INSTALLATION FOR SEED POTATO TREATMENT WITH BIOLOGICAL PROTECTION AGENTS

V.I. Shamonin, Cand. Sc. (Engineering), S.V. Chugunov, A.M. Zakharov, Cand. Sc. (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The current organic production requires the equipment for seed potato treatment to comply with the labor protection and environmental safety standards as well as to reduce the consumption of plant protection agents while maintaining the quality indicators. The article presents the design of a seed potato treatment installation with a roller inspection table UOSK-15. In a special chamber, it treats

the tubers with a fine spray, and in a storage – with biological plant protection agents, BisolbiSan in this study. An optimization problem was solved to establish the rational operation modes of the installation for its optimal performance. They include the potato tubers supply of 8.5-10 t/h under operating frequency of 10-12 Hz; the speed of the inspection table surface with rollers of 0.5 m/s under operating frequency of 40-45 Hz; the working fluid flow rate of 1.5-1.6 l/min. The efficiency of working fluid use was 100%. At the same time, the maximum value of potato tuber surface coverage with a biological protective agent was 92.5 - 99.3% being within the limits of agrotechnical requirements (above 90%).

Key words: Biological protection agents; seed potato, treatment installation, rational parameters, working fluid consumption, full-degree treatment

For citation: Shamonin V.I., Chugunov S.V., Zakharov A.M. Rational parameters and operating modes of installation for seed potato treatment with biological protection agents. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 80-93.(In Russian)

Введение

В результате различных болезней клубней семенного картофеля для органического производства снижение урожая может достигать 30-50%, поэтому его обработка биологическими средствами защиты растений (БСЗР) является важным мероприятием, как при посадке, так и перед закладкой на хранение. Как правило, в хозяйствах клубни картофеля перед закладкой на хранение не обрабатываются БСЗР, что существенно влияет на их хранение и репродуктивные качества. При этом потери урожая при выращивании составляют 10-15%, а потери при хранении могут доходить до 30-40% [1-3].

Исследования показывают, что наиболее приемлемо с точки зрения охраны труда обслуживающего персонала и экологической безопасности окружающей среды обработку семенного картофеля производить в специальных камерах обработки мелкодисперсионным распылом с защитным кожухом в комплекте с роликовым инспекционным столом в стационарных условиях биологическими средствами защиты растений (БСЗР) [4-8]. При этом работы можно проводить как перед посадкой семенного картофеля, так и перед закладкой его на хранение непосредственно в хранилище. Основные преимущества предпосадочной обработки семенного картофеля БСЗР в условиях картофелехранилища:

- полнота обработки клубней органического семенного картофеля достигает до 100%;

- позволяет использование протравливающих установок в гибкой технологической линии, обеспечивающих повышение производительности обработки в 2-3 раза, чем на сажалке;

- возможность использования оборудования в стационарных условиях, как на хранение, так и на предпосадочную обработку.

Учитывая, что в настоящее время перспективным направлением является производство картофеля по органической технологии, что пока преобладает на малых площадях в хозяйствах различных форм собственности, которые имеют ограниченные производственные и финансовые возможности, именно для их потребностей разрабатывается соответствующее оборудование в составе гибкой технологической линии. Так как семенной картофель для органического производства требует соответствующего уровня качества, его правильная и своевременная подготовка к хранению или посадке на специальном оборудовании в условиях хранилища обеспечит хороший урожай в дальнейшем. Таким

образом, разработка и модернизация современных технологий и технологического оборудования для обработки семенного картофеля БСЗР является актуальной задачей [9-12].

В 2021 году в ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ были начаты исследования по разработке эффективных приемов и технических средств обработки семенного картофеля БСЗР.

Цель работы – определение рациональных параметров и режимов работы установки для обработки семенного картофеля биологическими средствами защиты растений.

Материалы и методы

Объект исследований – технологический процесс обработки клубней картофеля на установке УОСК-15 (рис.1).

Предметом исследований являются параметры и режимы работы установки: подача клубней картофеля (т/ч); скорость роликового полотна инспекционного стола (м/с), расход рабочей жидкости (л/мин), а также дальнейшая оценка качественных показателей обработки семенного материала – коэффициента полноты площади обработки поверхности клубня БСЗР $К_{по}$, %, показателя степени эффективности использования рабочей жидкости $\lambda_н$, % и обобщенного показателя производительности оборудования $Q_р$, т/ч [5,6].

Рис. 1. Установка для обработки семенного картофеля УОСК-15

Установка для обработки семенного картофеля представляет из себя передвижную установку мелкодисперсного распыления БСЗР, которая устанавливается над рабочей поверхностью инспекционного роликового стола. Установка в сборе для обработки семенного картофеля состоит из передвижной и регулируемой по высоте рамы, камеры для мелкодисперсного распыла, насосной станции, защитного кожуха и роликового инспекционного стола. Установка УОСК-15 от ранее предложенного аналога ПСК-15 отличается возможностью регулировки скорости подачи исходного материала в более широких пределах и усовершенствованной конструкции оборудования.

Принцип работы: семенной картофель подается транспортером на роликовое полотно инспекционного стола и далее в рабочую камеру. В закрытой камере с помощью форсунок, работающих от насосной станции, распыляется БСЗР в состоянии мелкодисперсного тумана. Клубни картофеля, перемещаясь по роликовому полотну инспекционного стола, многократно переворачиваются, покрывая свою поверхность препаратом, и со стола

обработанные семена выгружаются на транспортер, а затем в транспортное средство. Техническая характеристика установки УОСК-15 приведена в таблице 1.

Таблица 1

Техническая характеристика УОСК-15 (комплекс)

УОСК	
Производительность, т/ч	от 5 до 15
Ширина обрабатываемой поверхности, мм	от 750 до 1100
Длина, мм	1350
Ширина, мм	1500
Высота, мм (мин-макс)	1800-2200
Мощность насоса-дозатора НВУ-10, кВт	0,06
Напряжение, В	220(12)
Объем емкости, л	60(200)
Расход рабочей жидкости, л/мин	0,2-1,6
Стол инспекционный роликовый СИР	
Длина, мм	2650
Регулировка скорости, об/мин (частотным преобразователем)	от 0-47
Производительность, т/ч	5
Потребление мощности, кВт	0,37
Напряжение сети, Гц	380В/50
Габаритные размеры:	
Рабочая длина стола, мм	2380
Ширина, мм	1140
Рабочая ширина стола, мм	790
Высота, мм	1000-1200
Вес, кг	200

Экспериментальные исследования проводились согласно разработанной программе и методике и представлены в виде рисунков и фотографий в общем виде. Перед проведением экспериментальных исследований была проведена подготовка рабочей жидкости, исходя из нормы 250 мл/т биологического концентрата препарата БисолбиСана и смешанного с водой (рис.2). Семенной картофель перед обработкой был откалиброван на сортировальной линии,

проведена его «сухая» очистка для удаления почвенных остатков. Средний размер клубней семенного картофеля составил 45-50 мм, клубни ровные, округлой формы, средняя площадь клубня $S_{ср}$=6359-7850 мм^2.

Условия для проведения экспериментальных исследований. Установка для обработки семенного картофеля комплектуется инспекционным роликовым столом с рабочей шириной от 0,75 до 1,1 метра (в нашем случае использовали 0,75 м). Высота $h_ф$ расположения форсунок над столом регулируемая в пределах 0,4-0,6 м. Для проведения эксперимента устанавливали среднюю высоту $h_ф$=0,5 м, что гарантировало при обработке перекрытие всей поверхности рабочей зоны. При проведении опытов для регулировки скорости полотна (м/с) роликового инспекционного стола использовали частотный преобразователь ESQ-A500-043-0,75K 0,75кВт 380-480В (пределы регулировки 0-50 Гц), обороты приводного вала замеряли тахометром. При попадании на стол клубни проходили в один слой, для этого была предусмотрена специальная регулируемая заслонка.

Рис. 2. Подготовка рабочей жидкости БСЗР и оборудования перед обработкой семенного картофеля

Для регулировки нормы расхода рабочей жидкости (л/мин) использовали расходомер Р-5. Подачу (т/ч) семенного материала на стол осуществляли с помощью транспортера загрузчика (рабочая ширина ленты 0,5 м), загружали семенной материал вручную и транспортером подборщиком «Крот». Скорость подачи клубней картофеля регулировали также частотным преобразователем.

Для проведения эксперимента была выбрана матрица планирования Бокса-Бенкина, так как она при минимальном количестве опытов даёт математическую модель с

минимальной дисперсией отклонения от экспериментальных данных и максимальным охватом точек всего факторного эксперимента [8, 9].

Уровни варьирования факторов полного 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкина представлены в таблице 2.

Таблица 2

Уровни факторов 3-х факторного эксперимента Бокса-Бенкина

Факторы	Подача клубней картофеля $Q_к$, т/ч	Скорость роликового полотна инспекционного стола $V_Р$, м/сек	Расход рабочей жидкости, $Н_Р$, л/мин
Нижний уровень (-)	5	0,3	1,2
Основной уровень (0)	10	0,5	1,4
Верхний уровень (+)	15	0,7	1,6

Для определения необходимой подачи (5, 10,15 т/ч) брали 100 кг клубней семенного картофеля и выгружали в бункер транспортера (ширина 0,5 м, длина 3,5 м) и далее транспортировали на инспекционный стол. Путем хронометража и расчетов определяли соответствующее время прохождения (72 с., 36 с. и 24 с.) и скорость (0,3, 0,5, 0,7 м/с) подачи материала до выгрузки на стол, которая регулировалась частотным преобразователем. Так опытным путем, регулируя тумблером частоту преобразователя, получаем необходимые условия работы (для подачи 5 т/ч – 35-40 Гц, 10 т/ч – 40-45 Гц, 15 т/ч – 45-50 Гц соответственно). В процессе работы проходила корректировка частоты, что допускается условиями опытов (рис.4).

Рис. 4. Настройка оборудования на различные параметры и режимы работы с помощью частотного преобразователя роликового стола и счетчика нормы расхода рабочей жидкости БСЗР

Для установки необходимой подачи клубней картофеля и скорости роликового полотна (0,3, 0,5, 0,7 м/с) инспекционного стола пропускали семенной материал (массой 100 кг) через камеру обработки БСЗР. На основе хронометражных наблюдений и расчетов устанавливали необходимую скорость подачи семенного картофеля и полотна роликового стола. Скорость подачи семенного картофеля и полотна роликового стола регулировалась частотным преобразователем. Зная, максимальные обороты приводного вала инспекционного стола (47 мин$^{-1}$ при скорости 0,7 м/с), устанавливали следующие режимы подачи клубней картофеля на роликовом полотне стола инспекционного: скорость 0,3 м/с – 30 Гц, 0,5 м/с – 40 Гц, 0,7 м/с – 50 Гц (при необходимости корректировали). Далее устанавливали необходимый расход рабочей жидкости (1,2, 1,4, 1,6 л/мин) для соответствующих условий проведения опытов и рассчитывали фактическую производительность инспекционного стола $Q_{ст}$, т/ч.

Обобщенным показателем оценки эффективности технологического процесса являлась производительность оборудования в составе технологической линии $Q_р$, т/ч. Для обеспечения оптимальной производительности транспортера подачи семенного материала, рабочего стола установки и выгрузного транспортера технологической линии должно было выполняться условие $Q_п = Q_{ст} = Q_р$, т/ч, при этом норма расхода рабочей жидкости фактическая, $H_p^ф$, (л/мин) и норма расхода рабочей жидкости нормативная, $H_p^н$, (л/мин) должны быть $H_p^ф = H_p^н$, а полнота обработки клубней $К_{по}$ =100%.

Для оценки качества работы установки использовали коэффициент полноты площади обработки поверхности клубня БСЗР $К_{по}$, который определялся из выражения [5]:

$$K_{по} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} S_1}{S}\right) * 100\% , \quad (1)$$

где: $К_{по}$ – коэффициент площади полноты обработки клубня соответствующим БСЗР, %; S_1 – площадь необработанной поверхности клубня, мм^2, S – общая площадь поверхности клубня, мм^2.

Показатель степени эффективности использования рабочей жидкости $\lambda_н$ определяли по формуле [5]:

$$\lambda_н = \frac{H_p^ф}{H_p^н} * 100\%, \quad (2)$$

где: $\lambda_н$ – степень эффективности использования рабочей жидкости %; $H_p^ф$ – норма расхода рабочей жидкости фактическая, л/мин; $H_p^н$ – норма расхода рабочей жидкости нормативная, л/мин.

Общая и обработанная площади поверхности клубня определялись методом наложения миллиметровки (рис. 5). Для определения общей площади поверхности клубня, S мм^2 брали определенную пробу клубней картофеля (5-10 шт.), смачивали водой и накладывали на миллиметровую бумагу. Так как семенной материал для опытов был откалиброван (фракция составит 45-50 мм), то общая площадь поверхности клубней была практически одинаковая. Далее клубни маркировали под номером и пускали с основным потоком картофеля, после обработки БСЗР определяли площадь необработанной

поверхности клубня, S_1, (мм^2) путем наложения миллиметровки. Площадь клубня округлой формы определяли по формуле:

$$S=4\pi r^2, \quad (3)$$

где r – радиус клубня, мм.

Затем рассчитывали коэффициент полноты площади обработки поверхности клубня $К_{по}$ и так далее. По агротехническим требованиям этот показатель во всех опытах должен быть не менее 90%.

Для определения показателя степени эффективности использования рабочей жидкости $\lambda_н$ (%) норму расхода рабочей жидкости фактическую $H_p^ф$ (л/мин) при различных параметрах и режимах работы установки определяли по расходомеру. Дополнительный контроль расхода БСЗР делали на специальной шкале емкости (в литрах, в нашем случае канистре). По расчетной формуле определяли соответствующие показатели.

Рис. 5. Отбор проб после обработки и расчет общей площади поверхности клубня и обработанной методом наложения миллиметровки и расчетами

В процессе опытов биологическими средствам и защиты растений было обработано 1600 кг семенного картофеля в основном технологическом процессе, при установленных рациональных параметрах и режимах работы установки. При этом норма расхода рабочей жидкости составила 6,5 л/т и 8,8 л/т, что соответствовало установленной норме расхода биологического препарата (4-10 л/т). Непосредственно при проведении опытов было обработано 270 кг картофеля на различных параметрах и режимах работы оборудования (в среднем 10 кг картофеля на опыт). Опыты проводились в период посадки картофеля совместно с сотрудниками ФГБНУ ВНИИСХМ в КФХ Пантелеев Б.М. и ООО «Агро-Интер» Волосовского района Ленинградской области (рис.6).

Обработка экспериментальных данных выполнялась на персональном компьютере с использованием Microsoft Excel. В результате обработки экспериментальных данных были получены зависимости коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от различной скорости $V_Р$ (0,3, 0,5, 0,7 м/с) роликового полотна инспекционного стола и расхода рабочей жидкости $Н_Р$ (1,2, 1,4, 1,6 л/мин) при различной подаче клубней семенного картофеля $Q_п$ в следующих режимах 5, 10 и 15 т/ч [13,14].

а) б)

Рис. 6. Обработка семенного картофеля БСЗР
а) картофель до обработки, б) картофель после обработки

Далее определили зависимости коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от его подачи при различных условиях работы установки. Коэффициент $К_{по}$ показывает влияние данных режимов работы установки на степень эффективности использования рабочей жидкости $\lambda_н$ для обработки семенного картофеля.

Также определили при какой подаче материала ($Q_к$, т/ч) показатель степени эффективности использования рабочей жидкости соответствует норме расхода препарата и удовлетворяет критериям полноты обработки клубня $К_{по}$, т.е. происходит полная или частичная обработка действующим препаратом поверхности клубня и соответствует ли это агротехническим требованиям. В результате обработки опытных данных получили уравнения в виде регрессии полноты обработки поверхности клубней БСЗР на установке.

По результатам экспериментов были обоснованы рациональные режимы работы установки, обеспечивающие её максимальную производительность.

Обработку результатов измерений проводили с использованием методов математической статистики и анализа на компьютере с помощью программы «Statgraphics Plus» и «Microsoft Excel» [14].

Методом дисперсионного анализа определили достоверные различия между полученными значениями величин «контроля» и «эксперимента».

Результаты и обсуждение

В результате обработки экспериментальных данных были получены зависимости коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от различной скорости V_P роликового полотна инспекционного стола и расхода рабочей жидкости H_P при подаче клубней семенного картофеля $Q_п$ в следующих режимах 5, 10 и 15 т/ч.

Наибольшая эффективность процесса обработки клубней обеспечивается при производительности установки 10 т/ч (рис. 7). Рациональными показателями процесса являются следующие показатели: подача клубней картофеля $Q_п$=8,5-10 т/ч; скорость роликового полотна инспекционного стола V_P =0,5 м/сек; расход рабочей жидкости, $H_р$ =1,5-1,6 л/мин, при этом максимальное значение покрытия поверхности клубня картофеля БСЗР составило 99,3% и соответствовало всем агротехническим требованиям.

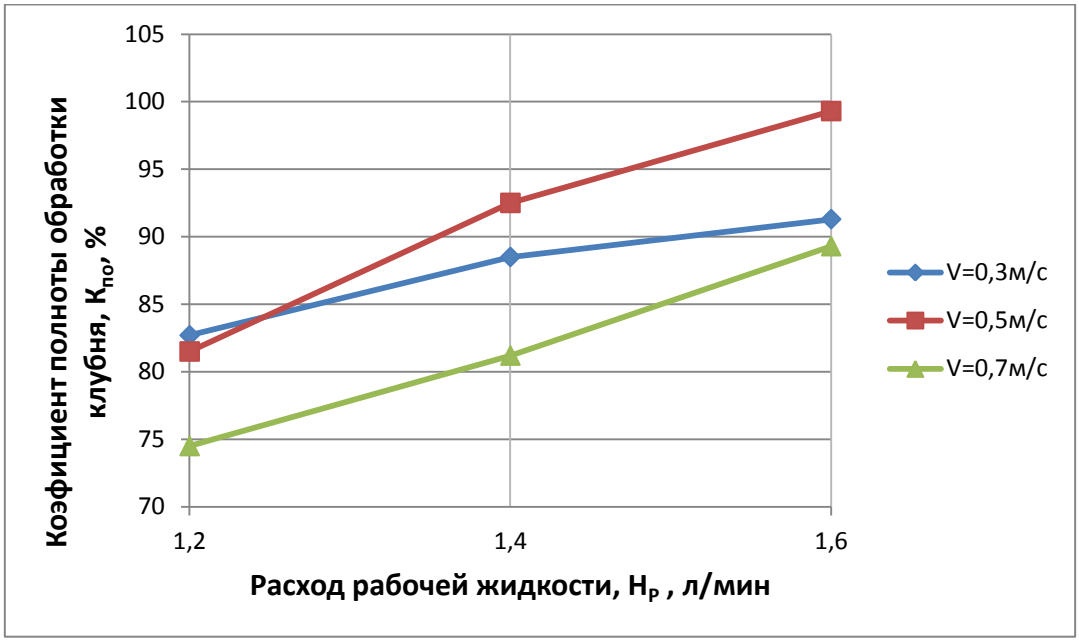


Рис. 7. Зависимость коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от скорости роликового полотна инспекционного стола $V_р$ и расхода рабочей жидкости, $Н_Р$ при подаче клубней картофеля $Q_к$ = 10т/ч

В результате обработки опытных данных получили уравнение полноты обработки поверхности клубней при оптимальных условиях в рабочей камере в виде уравнения регрессии:

$$Y = -57{,}5x^2 + 201{,}5x - 76{,}9. \quad (4)$$

На рисунке 8 представлен график зависимости коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от его подачи $Q_р$.

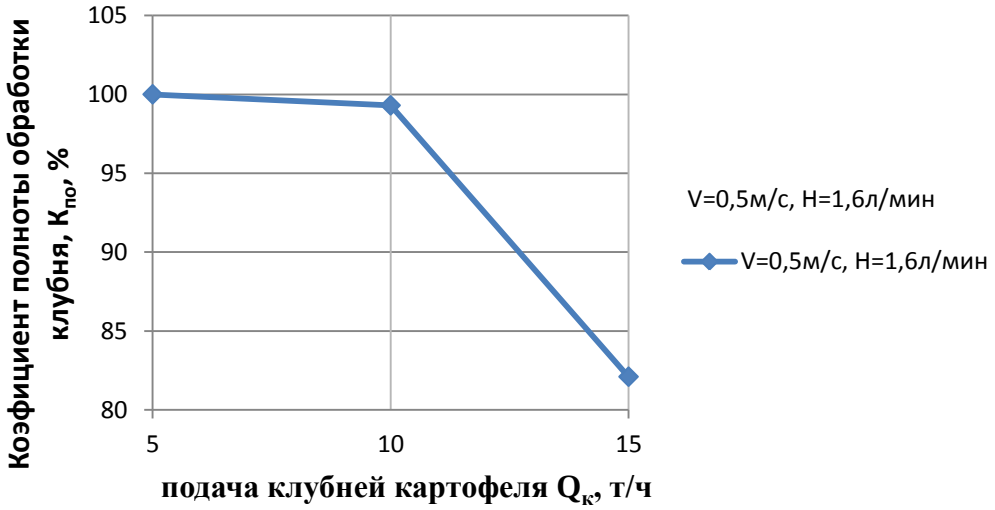


Рис. 8. Зависимость коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от подачи клубней картофеля

Установлена закономерность изменения коэффициента полноты обработки клубня $К_{по}$ от подачи клубней картофеля, которая описывается уравнением:

$$Y = -0,29x^2 + 4,01x + 87,2 \quad (5)$$

Анализ зависимости 8 показывает влияние режимов работы установки на показатель эффективности использования рабочей жидкости $\lambda_н$ рабочего процесса обработки семенного картофеля. Так при подаче клубней $Q_к$ от 5 до 8,5 т/ч происходит значительный перерасход препарата от нормы в 1,5-2 раза, при подаче 8,5-11 т/ч показатель эффективности соответствует норме расхода БСЗР, а при подаче картофеля от 11 до 15 т/ч не удовлетворяет критериям полноты обработки клубня $К_{по}$, т.е. происходит не полная обработка действующим препаратом поверхности клубня, что не соответствует агротехническим требованиям.

Показатель степени эффективности использования рабочей жидкости $\lambda_н$ при данных рациональных параметрах и режимах работы установки УОСК-15 составил 100%, т.е. норма расхода фактическая составила 1,5-1,6 л/мин или 6,5 л/т (норма расхода нормативная и заданная одинаковые).

Выводы

Обобщение экспериментальных данных позволило установить оптимальное значение производительности установки для обработки семенного картофеля при следующих рациональных режимах её работы: подача клубней картофеля $Q_п$=8,5-10 т/ч (рабочая частота 10-12 Гц); скорость роликового полотна инспекционного стола $V_Р$ =0,5 м/с (рабочая частота 40-45 Гц); расход рабочей жидкости, $Н_Р$ =1,5-1,6 л/мин; показатель степени эффективности использования рабочей жидкости составил $\lambda_н$ =100%.

При этом максимальное значение степени покрытия поверхности клубня картофеля биологическими средствами защиты растений (БисолбиСан, эталон, основной препарат при исследованиях) составляет 92,5 - 99,3% и находится в пределах агротехнических требований (более 90%).

В осенний период совместно с сотрудниками ФГБНУ ВНИИСХМ в КФХ Пантелеев Б.М. и ООО «Агро-Интер» Волосовского района Ленинградской области после обработки биологическими средствами защиты растений на установке УОСК-15 (опытные партии) была произведена закладка на хранение в контейнерах семенного картофеля.

Результаты экспериментальных исследований будут использованы для настройки оптимальных параметров и режимов работы установки УОСК-15 конструкции ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в составе технологической линии послеуборочной подготовки корнеклубнеплодов. Рекомендуемые нормы расхода рабочей жидкости (л/мин, л/т) будут представлены в технической характеристике комплекса УОСК-15. Разрабатываемый способ обработки клубней семенного картофеля биологическими средствами защиты растений перед посадкой или хранением в составе технологической линии послеуборочной подготовки корнеклубнеплодов будет использоваться в хозяйствах различных форм собственности в органическом производстве картофеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев А.А. Влияние протравливания и сроков посадки клубней на продуктивность картофеля // *Защита и карантин растений*, 2021. № 2. С. 42-43.

2. Васильев А.А. Влияние протравливания семенных клубней на фитосанитарное состояние и урожай картофеля // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова,* 2013. № 3. С. 90-96.

3. Мартынов А.В, Логинов Г.А, Шкрабак Р.В. Оптимизация параметров и режимов рабочих органов для протравливания семенного картофеля. Материалы Международного агроэкологического форума. СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2013. Т.2. С. 232-238.

4. Шамонин В.И., Чугунов С.В. Обоснование оптимальных режимов работы протравливателя картофеля ПСК-15. *АгроЭкоИнженерия*, 2021. №4 (109). С. 70-82.

5. Житин Н.М., Теплинский О.И. Методы и средства механизированного протравливания картофеля // *Вестник студенческого научного общества*. 2017. Т. 8. № 2. С. 24-28.

6. Шкрабак В.С., Шкрабак Р.М., Мартынов А.В., Логинов Г.А., Демко П.В. Устройство для протравливания корнеклубнеплодов. Патент №02530991 РФ, опубл. 20.10.2014. Бюл. № 29

7. Банадысев С.А. Протравливание картофеля: как выбрать препарат правильно // *Наше сельское хозяйство.* 2021. № 5. С. 27-41.

8. Novikova I., Titova J., Krasnobaeva I., Boikova I., Minin V., Zakharov A., Murzaev E. New polyfunctional biorationals use to achieve competitive yield of organic potatoes in the North-West Russian ecosystem // *Plants*. 2022. Vol. 11(7), 962; https://doi.org/10.3390/plants11070962

9. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. и др. *Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации.* Материалы международного проекта «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство – EFSOA». СПб: ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2021. 140 с.

10. Novikova I.I., Titova J.A., Krasnobaeva I.L., Minin V.B., Zaharov A.M., Perekopsky A.N. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases // *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19. No. 3, pp. 1617-1626.

11. Логинов Г.А. Мартынов А.В., Оптимизация плотности массового распределения суспензии при обработке клубней картофеля // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2017. № 91. С. 132-138.

12. Валге А.М., Джабборов Н.И., Эвиев В.А. Основы статистической обработки экспериментальных данных при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства с примерами на STATGRAPHICS и EXCEL (под ред. А.М. Валге). Санкт-Петербург: изд-во ИАЭП; Элиста: изд-во КалмГУ, 2015.140 с.

REFERENCES

1. Vasiliev A.A. Vliyanie protravlivaniya i srokov posadki klubnei na produktivnost' kartofelya [The effect of dressing and the timing of planting tubers on the productivity of potatoes]. *Zashchita i karantin rastenii*, 2021. No. 2: 42-43 (In Russian)

2. Vasilyev A.A. Vliyanie protravlivaniya semennykh klubnei na fitosanitarnoe sostoyanie i urozhai kartofelya [Effects on crop treatment of seeds and phytosanitary state of the potato crop]. *Vestnik Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii im. V.R. Filippova,* 2013. No. 3: 90-96 (In Russian)

3. Martynov A.V, Loginov G.A, Shkrabak R.V. Optimizatsiya parametrov i rezhimov rabochikh organov dlya protravlivaniya semennogo kartofelya. Materialy Mezhdunarodnogo agroekologicheskogo foruma [[Proc. Int. Agri-Env. Forum]. Saint Petersburg: GNU SZNIIMESH Rossel'khozakademii. 2013. Vol.2: 232-238 (In Russian)

4. Shamonin V.I., Chugunov S.V. Obosnovanie optimal'nykh rezhimov raboty protravlivatelya kartofelya PSK-15 [Justification of optimal operating modes of the PSK-15 potato dresser]. *AgroEkoInzheneriya*, 2021. No. 4 (109): 70-82 (In Russian)

5. Zhitin N.M., Teplinskii O.I. Metody i sredstva mekhanizirovannogo protravlivaniya kartofelya [Methods, machines and equipment for mechanized potato dressing]. *Vestnik studencheskogo nauchnogo obshchestva*. 2017. Vol. 8. No. 2: 24-28 (In Russian)

6. Shkrabak V.S., Shkrabak R.M., Martynov A.V., Loginov G.A., Demko P.V. Ustroistvo dlya protravlivaniya korneklubneplodov [Device for root crops dressing]. Patent on invention No. 02530991. 2014. (In Russian)

7. Banadysev S.A. Protravlivanie kartofelya: kak vybrat' preparat pravil'no [Potato dressing: how to choose the right preparation]. *Nashe sel'skoe khozyaistvo*. 2021. No. 5: 27-41 (In Russian)

8. Novikova I., Titova J., Krasnobaeva I., Boikova I., Minin V., Zakharov A., Murzaev E. New polyfunctional biorationals use to achieve competitive yield of organic potatoes in the North-West Russian ecosystem. *Plants*. 2022. Vol. 11(7), 962 (In English) DOI:10.3390/plants11070962

9. Evdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. et al. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Technologies of organic production of farm crops under conditions of the North-West Region of the Russian Federation]. *Materials of International Project "Environmentally Friendly Smart Organic Agriculture– EFSOA",* Saint Petersburg: IEEP - branch of FSAC VIM, 2021. 140 p. (In Russian)

10. Novikova I.I., Titova J.A., Krasnobaeva I.L., Minin V.B., Zaharov A.M., Perekopsky A.N. Biological effectiveness of a new multifunctional biopesticide in the protection of organic potatoes from diseases. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19. No. 3: 1617-1626 (In English)

11. Loginov G.A. Martynov A.V., Optimizatsiya plotnosti massovogo raspredeleniya suspenzii pri obrabotke klubnei kartofelya [Optimization of mass distribution density of suspension during potato tuber treatment]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017. No. 91: 132-138 (In Russian)

12. Valge A.M., Dzhabborov N.I., Eviev V.A. Osnovy statisticheskoj obrabotki ehksperimental'nyh dannyh pri provedenii issledovanij po mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva s primerami na STATGRAPHICS i EXCEL [Fundamentals of statistical processing of experimental data for research in mechanisation of agricultural production with examples in STATGRAPHICS and EXCEL]. Saint Petersburg; Elista: Kalmyk Univ. Publ., 2015: 140 p. (In Russian)

УДК 631.559.2:631.86 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-93-104

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕМЯН МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В ОРГАНИЧЕСКОМ СЕВООБОРОТЕ

С.В. Чугунов, А.Н. Перекопский, канд. техн. наук,
Н.И. Джабборов, д-р техн. наук, А.В. Добринов, канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Многолетние травы являются основным кормовым ресурсом на Северо-Западе РФ. В структуре посевных площадей их доля составляет 55,3 – 60,4 % (при 12,5 – 13,0 % в РФ), а в структуре кормовых культур достигает 86 %. Обеспечение сбалансированного питания растений и благоприятного состояния почв и посевов сельскохозяйственных культур возможно только при экологически безопасном интегрированном применении удобрений, освоении научно обоснованных севооборотов. Важным фактором повышения урожайности семян многолетних злаковых трав являются азотные удобрения, которые обеспечивают благоприятные условия для растений в летне-осенний период в фазу кущения, когда закладываются генеративные побеги, и интенсивного их развития весной. В литературе приводятся, в основном, эмпирические зависимости урожайности семян от нормы внесения удобрений, которые относятся к конкретным условиям многолетних злаковых трав. Для прогнозирования урожайности семян многолетних злаковых трав в различных зонах их возделывания необходимы вероятностные модели, учитывающие случайный характер изменения факторов, влияющих на продуктивность культуры. В этой связи тема исследований является актуальной. Целью исследований является разработка математической модели для прогнозирования величины урожайности семян многолетних злаковых трав в различных зонах их возделывания. При разработке математической модели использовались аналитические методы и метод функций случайных аргументов. В статье приведены экспериментальные данные и вероятностная математическая модель, описывающие процесс изменения урожайности семян многолетних злаковых трав в различных зонах их возделывания. Разработанная математическая модель позволяет

прогнозировать урожайность семян многолетних трав в севообороте в зависимости от нормы внесения удобрений при благоприятных и неблагоприятных погодных условиях.

Ключевые слова: семена многолетних трав, урожайность, органический севооборот, математическая модель, прогноз урожайности.

Для цитирования: Чугунов С.В., Джабборов Н.И., Перекопский А.Н., Добринов А.В. Прогнозирование урожайности семян многолетних трав в органическом севообороте //*АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С. 93-104

FORECASTING THE YIELD OF PERENNIAL GRASS SEEDS IN ORGANIC CROP ROTATION

S.V. Chugunov, N.I. Dzhabborov, DSc (Engineering), A.N. Perekopsky, Cand. Sc. (Engineering), A.V. Dobrinov, Cand. Sc. (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

Perennial grass is the main fodder resource in the North-West Russia. Its share in the structure of sown areas amounts to 55.3 to 60.4%, whereas in the Russian Federation it is 12.5-13.0%. In the structure of forage crops it reaches 86%. Only nonpolluting integrated application of fertilizers and introduction of evidence-based crop rotations can ensure the balanced plant nutrition and favorable soil and crop conditions. Nitrogen fertilizers are important for increasing the perennial grass seed yields. They contribute to plant intensive development in spring. In summer and autumn they ensure the favorable conditions during the tillering phase, when the generative shoots are established. Most literature describes the empirical dependences of the seed yields on fertilizer application rates that refer to the specific cultivation conditions of perennial grass. Forecasting of such yields in different cultivation areas requires, however, the probabilistic models, which take into account the random nature of changes in the factors affecting the crop productivity. In this regard, the research topic is quite relevant. The study aimed to create a mathematical model for forecasting the perennial grass seed productivity in different cultivation zones. The study applied analytical methods and the method of functions of random arguments. The article presents the experimental data and the created probabilistic mathematical model. The model allows forecasting the perennial grass seed yields in the crop rotation depending on the fertilizer application rate under favorable and unfavorable weather conditions.

Key words: perennial grass seeds, yielding capacity, organic crop rotation, mathematical model, yield forecast.

For citation: Chugunov S.V., Dzhabborov N.I., Perekopsky A.N., Dobrinov A.V. Forecasting the yield of perennial grass seeds in organic crop rotation. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 93-104. (In Russian)

Введение

Многолетние травы являются основным кормовым ресурсом на Северо-Западе РФ. В структуре посевных площадей их доля составляет 55,3 – 60,4 % (при 12,5 – 13,0 % в РФ), а в структуре кормовых культур достигает 86 % [1].

На Северо-Западе России одной из основных причин неудовлетворительного состояния посевов трав является доминирующий старовозрастной состав травостоев из-за отсутствия систематического их перезалужения, который в свою очередь обусловлен недостаточной обеспеченностью агропредприятий семенами трав и нерациональным использованием травостоев [2].

Обеспечение сбалансированного питания растений и благоприятного состояния почв и посевов сельскохозяйственных культур возможно только при экологически безопасном интегрированном применении удобрений, освоении научно обоснованных севооборотов, возделывании интенсивных сортов сельскохозяйственных культур, проведении соответствующей обработки почвы и других адаптированных к почвенно-климатическим и производственно-ресурсным условиям приемов [3,4].

Получение высокой урожайности сельскохозяйственных культур при своевременном выполнении агротехнических приемов, обеспечивается в основном применением удобрений. В большей степени это положение важно для дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны РФ, которые содержат сравнительно небольшое количество легкодоступных элементов питания и характеризуются низким естественным плодородием [5].

Важным фактором повышения урожайности семян многолетних злаковых трав являются азотные удобрения, которые обеспечивают благоприятные условия для растений в летне-осенний период в фазу кущения, когда закладываются генеративные побеги, и интенсивного их развития весной [6].

Наиболее полно оценить действие удобрений можно в длительных полевых опытах, которые являются важной нормативной базой для решения вопросов рационального и эффективного применения удобрений в агропромышленном производстве. Результаты многолетних опытов показывают, что возделывание сельскохозяйственных культур без удобрений при дефицитном балансе питательных веществ в почве приводит к постепенному истощению запасов органического вещества [7].

В тоже время прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является важной задачей для решения проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства. В условиях современного российского АПК использование традиционных методов принятия управленческих решений в сельском хозяйстве не вполне обеспечивает ожидаемый эффект, поскольку ориентировано в большей степени на исправление текущих недостатков и непредвиденных обстоятельств, появившихся в деятельности сельскохозяйственных предприятий. Теоретической основой и практическим инструментарием при анализе и прогнозировании урожайности в аграрном секторе экономики, как и в других отраслях, являются экономико-математические модели и проводимые с их помощью расчеты [8]. Особенно актуально прогнозирование в условиях неопределенности и риска при внедрении экологически безопасных технологий. В этом случае трудность заключается не в

выполнении расчетов, а в построении самих моделей, максимально адекватных реальной обстановке [9,10]. Разработка математической модели прогнозирования должна учитывать ряд важнейших факторов, оказывающих влияние на количество и стабильность получаемых урожаев, в частности почвенно-климатические условия региона, состояние материально-технической базы хозяйства и т. д. [11, 12, 13].

Материалы и методы

Целью исследований является разработка математической модели для прогнозирования величины урожайности семян многолетних злаковых трав на примере тимофеевки луговой в различных зонах их возделывания. При разработке математической модели использовались аналитические методы и метод функций случайных аргументов[3].

Объектом исследования выступает динамика урожайности семян многолетних трав в органическом шестипольном севообороте в Северо-Западном регионе РФ. Почвы подзолистые, обеспеченность питательными веществами средняя, предшественник свекла столовая. Материалы – данные об урожайности семян многолетних трав, полученные на основе экспериментальных исследований в экспериментальном хозяйстве «Красная Славянка» ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2020-2022 годы. Предметом исследований является закономерность изменения урожайности семян многолетних злаковых трав.

В ходе экспериментальных опытов в 2020-2022 годах были проведены посевы многолетних трав с целью получения семян. Норма высева семян составляла 5 кг/га. Посев произведен широкорядным способом с расстоянием 70 см.

В качестве органического удобрения использован Биагум. Содержание действующего вещества по азоту равнялось 3%. Данные по урожайности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Урожайность семян многолетних трав в зависимости от нормы внесения удобрений

Норма внесения удобрений, кг/га действующего вещества по азоту	Средняя урожайность семян многолетних трав, кг/га		
	2020	2021	2022
0	190	205	11,9
20	280	270	15,8
40	310	300	16,8
60	350	355	19,9

[3] Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. – Л.: Колос. Ленинградское отделение, 1978. – 296 с.

Джабборов Н.И. Научные основы энерготехнологической оценки и прогнозирования эффективности использования мобильных сельскохозяйственных агрегатов. – Душанбе: Изд. «Дониш», 1995. – 286 с.

Как видно из данной таблицы в 2020 и 2021 годах были благоприятные условия для получения семян, а в 2022 году было засушливое и жаркое лето, что пагубно повлияло на урожайность.

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований, проведенные в 2020-2022 годы, свидетельствуют, что в зависимости от нормы внесения удобрений, способы их заделки, условия возделывания урожайность семян многолетних трав колеблется в широких пределах. При разработке плана производства семян многолетних трав необходимо научное обоснование величины урожайности данной культуры. При этом важную роль играет прогнозирование урожая в зависимости от питания растений, условия их возделывания и других значимых факторов, влияющих на продуктивность растений. Так как прогнозирование продуктивности сельскохозяйственных культур представляет собой сложную задачу, для повышения достоверности прогнозных значений необходимо разработать вероятностные математические модели, описывающие процесс изменения урожайности.

На основе применения метода функций случайных аргументов нами разработана вероятностная математическая модель для прогнозирования урожайности семян многолетних трав в зависимости от изменения уровня питания и условий их возделывания.

Вероятностную математическую модель для прогнозирования урожайности семян многолетних трав в зависимости от изменения уровня питания при благоприятных условиях их возделывания можно представить в виде:

$$\bar{}_c = AC_y(1 + f_{\text{ТВ}}) + \text{B}C_{\text{у}}(1 + f_{\text{ТВ}}) + \text{B}C_{\text{у}}^2(1 + f_{\text{ТВ}}^2), \quad (1)$$

где $\bar{}_c$ – средняя урожайность семян многолетних трав, кг/га;

А – постоянная величина, равная минимальной урожайности семян многолетних трав при благоприятных условиях на фоне естественного плодородия почв, кг/га;

В – угловой коэффициент, зависящий от размера урожайности семян трав и степени обеспеченности питанием растений при благоприятных условиях их выращивания:

$$B = \frac{Y_{max}^{\text{б}} - Y_{min}^{\text{б}}}{C_y^{max}}, \quad (2)$$

где $Y_{max}^{\text{б}}$ и $Y_{min}^{\text{б}}$ – максимальная и минимальная урожайность семян при благоприятных условиях возделывания многолетних трав, кг/га;

$C_{\text{у}}$ – коэффициент, учитывающий степень обеспеченности растений питанием ($C_{\text{у}}$= 0,1-1).

$f_{\text{ТВ}}$ – КПД удобрений ($f_{\text{ТВ}}$ = 0,083-0,333).

C_y^{max}=1 – соответствует максимальной степени обеспеченности растений питанием.

Вероятностную математическую модель для прогнозирования урожайности семян многолетних трав в зависимости от изменения уровня питания при неблагоприятных условиях их возделывания можно представить в виде:

$$\overline{m}_c = A_1 C_y (1 + f_{\text{ТВ}}) + B_1 C_{\text{у}} (1 + f_{\text{ТВ}}) + B_1 C_{\text{у}}^2 (1 + f_{\text{ТВ}}^2), \text{ кг/га} \quad (3)$$

где A_1 – постоянная величина, равная минимальной урожайности семян многолетних трав при неблагоприятных условиях на фоне естественного плодородия почв, кг/га;

B_1 – угловой коэффициент, зависящий от размера урожайности семян трав и степени обеспеченности питанием при неблагоприятных условиях, кг/га:

$$B_1 = \frac{Y_{max}^{\text{н}} - Y_{min}^{\text{н}}}{C_y^{max}}, \quad (4)$$

где $Y_{max}^{\text{н}}$ и $Y_{min}^{\text{н}}$ – максимальная и минимальная урожайность при неблагоприятных условиях, кг/га.

В результате расчёта по математической модели (1) получены прогнозируемая урожайность семян многолетних трав при благоприятных условиях их возделывания (таблица 2).

На рисунке 1 представлена графическая зависимость урожайности семян тимофеевки луговой от коэффициента обеспеченности растений питанием $C_{\text{у}}$ и коэффициента $f_{\text{ТВ}}$, зависящего от меры рассеяния $C_{\text{у}}$ и КПД удобрений.

Таблица 2

Прогнозные значения урожайности семян многолетних трав при благоприятных условиях их возделывания

КПД удобрений $f_{\text{ТВ}}$	Средняя урожайность семян многолетних трав, кг/га									
	коэффициент, учитывающий степень обеспеченности растений питанием $C_{\text{у}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,083	40,0	82,9	128,9	178,0	230,0	285,1	343,1	404,2	468,4	535,5
0,167	43,0	89,0	138,2	190,4	245,7	304,1	365,5	430,1	497,7	568,5
0,25	46,0	95,1	147,5	203,0	261,7	323,6	388,7	457,0	528,5	603,1
0,333	49,0	101,3	157,0	215,9	278,3	343,9	412,9	485,2	560,9	639,8

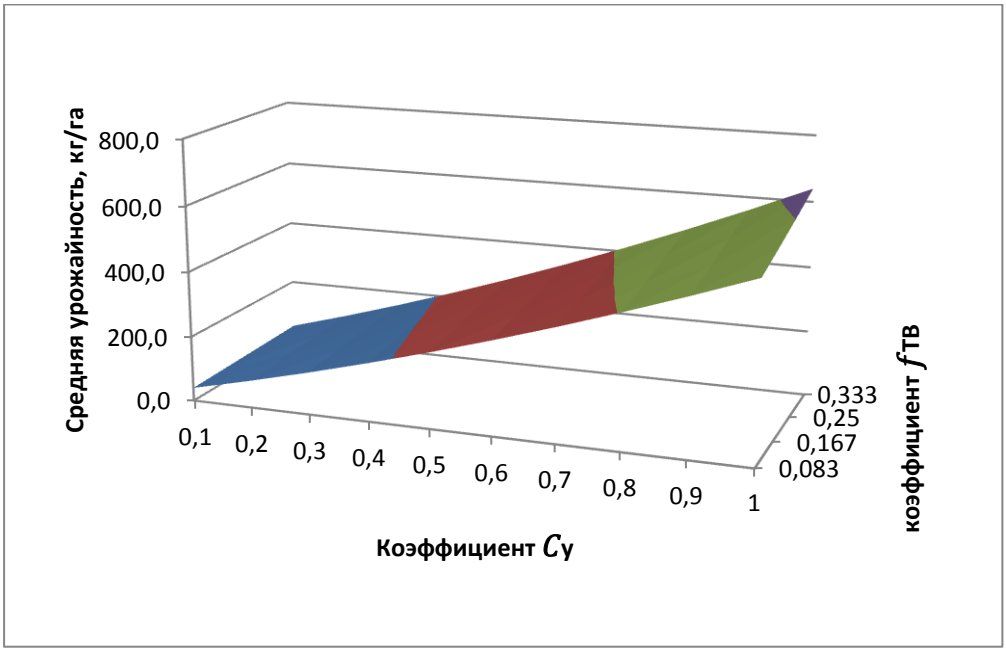


Рис. 1. Графическая зависимость средней прогнозируемой урожайности семян тимофеевки луговой от коэффициента обеспеченности растений питанием $C_у$ и коэффициента $f_{ТВ}$ при благоприятных условиях

Данные полученные экспериментальным путем совпадают с расчетными при следующих показателях – коэффициент КПД удобрений $f_{ТВ}$ – 0,25 и коэффициенте обеспеченности растений питанием $C_у$ от 0,4 до 0,65. Исходя из этого коэффициентом обеспеченности растений питанием $C_у$ в пределах от 0,1 до 0,3 можно пренебречь, и в дальнейшем при расчетах принимать данный коэффициент в пределах от 0,4 до 1. Как свидетельствуют результаты расчёта, в благоприятных условиях возделывания тимофеевки луговой, урожайность семян в зависимости от уровня их питания и КПД удобрений колеблется в пределах от 178,0 до 639,8 кг/га.

В результате расчёта по математической модели (4) получены прогнозируемая урожайность семян тимофеевки луговой при неблагоприятных условиях их возделывания (таблица 3).

На рисунке 2 представлена графическая зависимость урожайности семян тимофеевки луговой при неблагоприятных условиях их выращивания от коэффициента обеспеченности растений питанием $C_у$ и коэффициента $f_{ТВ}$, зависящего от меры рассеяния $C_у$ и КПД удобрений.

Таблица 3

Прогнозные значения урожайности семян тимофеевки луговой при неблагоприятных условиях их возделывания

КПД удобрений	Средняя урожайность семян тимофеевки луговой, кг/га

$f_{ТВ}$	Коэффициент, учитывающий степень обеспеченности растений питанием $C_у$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,083	2,2	4,6	7,2	9,9	12,8	15,8	19,0	22,4	25,9	29,6
0,167	2,4	5,0	7,7	10,6	13,7	16,9	20,3	23,8	27,6	31,4
0,25	2,6	5,3	8,2	11,3	14,6	18,0	21,6	25,3	29,3	33,4
0,333	2,7	5,7	8,8	12,0	15,5	19,1	22,9	26,9	31,1	35,4

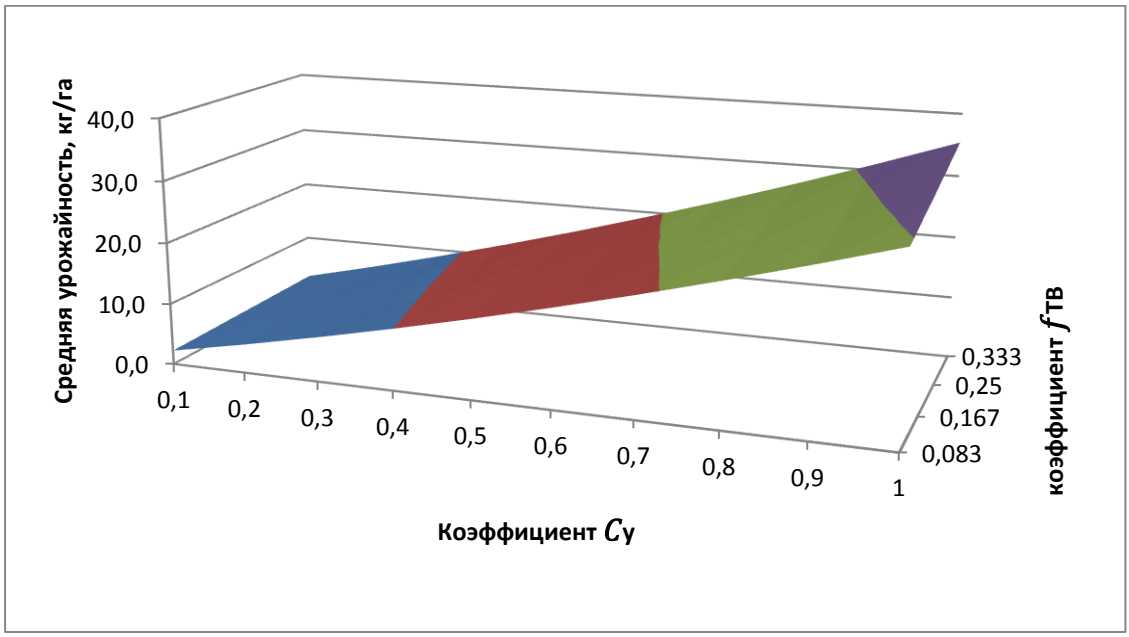


Рис. 2. Графическая зависимость средней прогнозируемой урожайности семян тимофеевки луговой от коэффициента обеспеченности растений питанием $C_у$ и коэффициента $f_{ТВ}$ при неблагоприятных условиях

Данные полученные экспериментальным путем совпадают с расчетными при следующих показателях – коэффициент КПД удобрений $f_{ТВ}$ – 0,25 и коэффициенте обеспеченности растений питанием $C_у$ от 0,43 до 0,66. Как свидетельствуют результаты расчётов (табл.3, рис.2), в неблагоприятных условиях возделывания, урожайность семян в зависимости от уровня их питания и КПД удобрений колеблется в пределах от 9,9 до 35,4 кг/га. Это свидетельствует о том, что при неблагоприятных условиях возделывания, когда имеет место дефицит влаги и избытка тепла (температуры), не обеспечиваются равномерные всходы семян, не в полной мере реализуется эффективность внесенных удобрений и естественное плодородие почвы.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что для Северо-Западного региона характерен КПД органических удобрений $f_{ТВ}$ равный 0,25. Коэффициент

обеспеченности растений питанием $C_{\text{у}}$ в среднем составляет 0,4 для естественного плодородия почв, и возрастает в среднем до 0,65 при внесении удобрений в дозе 60 кг/га действующего вещества по азоту.

В свою очередь, планирование обеспечит программирование урожайности на основе оценки и рационального использования продуктивности почвы и климата в конкретных зонах земледелия, и разработать эффективную и экологически безопасную технологию производства семян многолетних трав для максимального использования генетического потенциала, районированных сортов.

Выводы

Разработанные вероятностные математические модели позволят прогнозировать урожайность семян многолетних злаковых трав в различных погодных условиях в зависимости от норм внесения органических удобрений. Для оценки влияния удобрений на продуктивность семян выполнены расчёты для вероятностей степени обеспеченности питанием в интервале 0,1-1 и их КПД в интервале 0,083-0,333, которые показали, что при вероятности степени обеспеченности питанием $C_{\text{у}}$ ниже 0,5 и КПД $f_{\text{ТВ}}$ ниже 0,25 урожайность семян снижается более чем в 2 раза.

Предложенный метод прогнозирования ожидаемого объема собранной продукции в благоприятных и неблагоприятных условиях и полученные вероятностные модели дают возможность принимать управленческие решения на основе вполне объективного научного подхода, который заключается в статистическом анализе средней продуктивности семян многолетних трав за предыдущие годы. Это даст возможность составлять прогнозы урожайности семян многолетних трав с различной интерпретацией.

Прогнозирование дает возможность планировать и программировать урожайность, что в конечном итоге может обеспечить формирование эффективности экологически безопасной технологии производства семян многолетних трав.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синицына С. М., Спиридонов А. М. Состояние и перспективы возделывания многолетних трав на Северо-Западе России // *Аграрная Россия*. 2018. № 2. С. 17-22.

2. Синицына С. М., Спиридонов А. М., Данилова Т. А. Состояние и перспективы селекции и семеноводства многолетних трав на Северо-Западе России // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.* 2017. № 48. С. 11-19.

3. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно – ландшафтного земледелия / Под ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. Москва: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.

4. Ваулина Г.И., Алиев А.М., Державин Л.М., Конова А.М., Самойлов Л.Н. Агроэкологические аспекты при комплексном применении средств химизации / *Состояние и перспективы агрохимических исследований в географической сети опытов с удобрениями*. Материалы Международной научно-методической конференции учреждений-участников

Геосети России и стран СНГ (10-11 июня 2010 г.) / Под ред. В.Г. Минеева, В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2010. С. 137-139.

5. Босак В.Н. Системы удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. Минск: Институт почвоведения и агрохимии. 2003. 176 с.

6. Конова А.М., Дыцкова Т.А., Курдакова О.В. Руководство по элементам технологии производства семян клевера лугового сорта Надежный. Смоленск: Изд-во ФГБНУ Смоленской ГОСХОС. 2015. 26 с.

7. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Урожайность и качество многолетних трав двух годов пользования в зависимости от применения возрастающих доз минеральных удобрений, внесённых под покровную культуру // МНИЖ. 2018. №4 (70).

8. Смирнов П. А., Коротков А. В., Короткова З. П., Пушкаренко Н. Н. Прогнозирование урожайности хмеля с помощью корректирующих коэффициентов // *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии.* 2021. № 2(17). С. 118-125.

9. Vasilyev A. O., Andreev R.V., Pushkarenko N. N., Smirnov P. A., et al. Modern ways of improving the mechanization of hop cultivation / *30th International Business Information Management Conference* (8-9 November 2017, Madrid, Spain). Madrid: IBIMA. 2017, pp. 5294-5289.

10. Smirnov P., Alexeev E., Kazakov Y., Prokopeva E., et al. Influence of soil-protective technologies on the characteristics of the soils of hop plants // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Macau: Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 5294-5289.

11. Личман Г.И., Смирнов И.Г., Козлова А.И., Белых С.А. Программа определения оптимальных доз внесений удобрений с учетом статистических показателей почвенного азота // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства*: сб. докл. международной научно-технич. конф. (15-16 сентября 2015 г., г. Москва). М.: ВИМ. 2015. С. 156-161.

12. Максимов, Д. А., Перекопский А. Н., Чугунов С. В. Модели продуктивности тимофеевки луговой в органическом севообороте // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. № 94. С. 123-129. DOI 10.24411/0131-5226-2018-10019.

13. Джабборов Н.И., Максимов Д.А., Добринов А.В. Научные принципы формирования машинных технологий производства продукции растениеводства // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 1(110). С.102-120.

REFERENCES

1. Sinitsyna S. M., Spiridonov A. M. Sostoyanie i perspektivy vozdelyvaniya mnogoletnikh trav na Severo-Zapade Rossii [Status and prospects of cultivation of perennial grasses on the North-West of Russia]. *Agrarnaya Rossiya*. 2018. No. 2: 17-22 (In Russian)

2. Sinitsyna S. M., Spiridonov A. M., Danilova T. A. Sostoyanie i perspektivy selektsii i semenovodstva mnogoletnikh trav na Severo-Zapade Rossii [Current state and prospects of

perennial grass seed selection and production in the North-West Russia]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. No. 48: 11-19 (In Russian)

3. Metodicheskoe rukovodstvo po proektirovaniyu primeneniya udobrenii v tekhnologiyakh adaptivno-landshaftnogo zemledeliya [Methodological guidelines for designing the use of fertilizers in the technologies of adaptive landscape farming] / A.L. Ivanov, L.M. Derzhavin. (eds.) Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Russian Academy of Agricultural Sciences, 2008. 392 p. (In Russian)

4. Vaulina G.I., Aliev A.M., Derzhavin L.M., Konova A.M., Samoilov L.N. Agroekologicheskie aspekty pri kompleksnom primenenii sredstv khimizatsii [Agro-ecological aspects in the complex application of chemicals]. *Sostoyanie i perspektivy agrokhimicheskikh issledovanii v geograficheskoi seti opytov s udobreniyami* [State and prospects of agrochemical research in the geographical network of experiments with fertilizers]. Proc. Int. Sci. Meth. Conf. of institutions - participants of GeoNet Russia and CIS countries (10-11 June 2010, Moscow) V.G. Mineev, V.G. Sychev (eds.). Moscow: VNIIA, 2010: 137-139 (In Russian)

5. Bosak V.N. Sistemy udobreniya v sevooborotakh na dernovo-podzolistykh legkosuglinistykh pochvakh [Fertilizer systems in crop rotations on sod-podzolic light loamy soils]. Minsk: Institute of Soil Science and Agrochemistry. 2003. 176 p. (In Russian)

6. Konova A.M., Dytskova T.A., Kurdakova O.V. Rukovodstvo po elementam tekhnologii proizvodstva semyan klevera lugovogo sorta Nadezhnyi [Guidance on the elements of technology of meadow clover seeds of the variety Reliable]. Smolensk: Smolensk State Experimental Agricultural Station Publ. 2015. 26 p. (In Russian)

7. Konova A.M., Gavrilova A.YU. Urozhajnost' i kachestvo mnogoletnih trav dvuh godov pol'zovaniya v zavisimosti ot primeneniya vozrastayushchih doz mineral'nyh udobrenij, vnesyonnyh pod pokrovnuyu kul'turu // MNIZH. 2018. №4 (70). (In Russian)

8. Smirnov P. A., Korotkov A. V., Korotkova Z. P., Pushkarenko N. N. Prognozirovanie urozhainosti khmelya s pomoshch'yu korrektiruyushchikh koeffitsientov [Forecasting hop yield using correction factors]. *Vestnik Chuvashskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2021. No. 2(17): 118-125 (In Russian)

9. Vasilyev A. O., Andreev R.V., Pushkarenko N. N., Smirnov P. A., et al. Modern ways of improving the mechanization of hop cultivation // *30th International Business Information Management Conference* (8-9 November 2017, Madrid, Spain). Madrid: IBIMA. 2017: 5294-5289 (In English)

10. Smirnov P., Alexeev E., Kazakov Y., Prokopeva E., et al. Influence of soil-protective technologies on the characteristics of the soils of hop plants // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Macau: Institute of Physics Publishing, 2019: 5294-5289 (In English)

11. Lichman G.I., Smirnov I.G., Kozlova A.I., Belykh S.A. Programma opredeleniya optimal'nykh doz vnesenii udobrenii s uchetom statisticheskikh pokazatelei pochvennogo azota [The program for determining the optimal doses of fertilizers, taking into account the statistical indicators of soil nitrogen]. *Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii gosudarstvennoi programmy razvitiya sel'skogo khozyaistva* [Intelligent machine technologies and equipment for the implementation of the state program for the development of agriculture]. Proc. Int. Sci. Tech. Conf. (15-16 September 2015, Moscow). Moscow: VIM. 2015: 156-161 (In Russian)

12. Maksimov, D. A., Perekopskii A. N., Chugunov S. V. Modeli produktivnosti timofeevki lugovoi v organicheskom sevooborote [Models of timothy productivity in organic crop rotation]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2018. No. 94: 123-129 (In Russian) DOI 10.24411/0131-5226-2018-10019.

13. Dzhabborov N.I., Maksimov D.A., Dobrinov A.V. Nauchnye printsipy formirovaniya mashinnykh tekhnologii proizvodstva produktsii rastenievodstva [Science concepts for designing machine technologies of crop production]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 1(110): 102-120 (In Russian)

УДК 911.2; 631.619 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-104-113

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ИНВАЗИОННЫМ ВИДОМ БОРЩЕВИК СОСНОВСКОГО

Н.Н. Семчук[1], д-р с.-х. наук;
О.В. Балун[1], канд. техн. наук;
С.Н. Гладких[2], канд. техн. наук;
А.Н. Перекопский[3], канд. техн. наук

[1]Новгородский НИИ сельского хозяйства – филиал Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Новгородская обл., Россия.
[2]Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия.
[3]Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия.

В работе рассмотрены вопросы возможности сохранения равновесия экосистемы, в которую попадают инвазии. Проблема инвазий не является новой, поскольку перемещение видов в пределах континентов и между ними происходило всегда. Острота проявляется именно в настоящее время. Это связано с большой мобильностью населения, попытками получить новые источники питания, образованием отходов и свалок, а также высокой интенсивностью перемещения различных грузов, в том числе и с живыми объектами. В настоящее время признаки экологической катастрофы отмечены в связи с интенсивным распространением на территории России ядовитого инвазионного вида борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden). Разработано несколько способов борьбы с этим видом. Однако большинство из них являются достаточно опасными в связи с применением сильнодействующих химических препаратов. По этой причине в качестве перспективных можно рассматривать способы, которые основаны на естественных процессах. В частности, в статье рассматриваются способы борьбы с использованием посевов многолетних трав. Проведено большое число исследований, которые показали, что создание плотной дернины за счет сеяных трав является экологически чистым и достаточно эффективным способом сокращения ареала борщевика на всей территории нашей страны. Помимо многократного

скашивания ядовитых растений предлагается на основе разработанных способов нераспространения борщевика, защищенных патентами, использовать повышенные нормы высева многолетних трав, использовать растительные материалы (зеленая и высушенная масса многолетних трав, солома и др.) для мульчирования и укрытия вегетирующих растений борщевика. Приведены результаты наблюдений за растениями борщевика после многократного скашивания без дополнительных мер, выявлена низкая вероятность полного уничтожения растений борщевика. Удаление генеративных побегов не может предотвратить образование плодов, их количество будет меньше, однако достаточно для увеличения ареала обитания.

Ключевые слова: инвазия, ареал, сеяные травы, борщевик Сосновского, способы борьбы, мульчирование, гербициды.

Для цитиривания: Семчук Н.Н., Балун О.В., Гладких С.Н., Перекопский А.Н. Экологические способы борьбы с инвазионным видом борщевик Сосновского // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4(113). С.104-114

DESTRUCTION OF AN INVASIVE SPECIES SOSNOVSKY'S HOGWEED BY ECOLOGICAL MEANS

N.N. Semchuk[1], DSc (Agriculture), O.V. Balun[1], Cand. Sc. (Engineering), S.N. Gladkikh[2], Cand. Sc. (Engineering), A. N. Perekopsky[3], Cand. Sc. (Engineering)

[1]Novgorod Research Institute of Agriculture - branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Novgorod Region, Russia.
[2]Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia.
[3]Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The problem of invasions is not new, since the movement of species within and between continents has always occurred. It has acquired a special sharpness at the present time. This is due to the high mobility of the population, as well as the high intensity of movement of various goods, including live objects. In a matter of hours, microorganisms, plants and animals can move across the ocean and get to a new continent for them. Optimal conditions for development and reproduction, as well as the absence of natural enemies, can be a trigger for uncontrolled expansion of the habitat in new conditions. In cases of aggressive properties, the ability to displace native species from biocenoses, the phenomenon of invasion occurs. It is sharply aggravated in the presence of dangerous qualities (the presence of poisons, resistance to external influences, etc.). As a classic example of this, the rapid increase in the range of a poisonous invasive species – Sosnovsky's hogweed (*Heraculum sosnowskyi* Manden) is a clear manifestation of signs of an ecological catastrophe. Environmentally safe methods of control are of particular value in the fight against invasive species. Including the use of seeded herbs for this.[4]

Keywords*:* invasion, habitat, seeded grasses, Sosnovsky’s hogweed, control method, mulching, herbicide.

[4] The authors’ text and translation

For citation: Semchuk N.N., Balun O.V., Gladkikh S.N., Perekopsky A. N. Destruction of an invasive species Sosnovsky's hogweed by ecological means. *AgroEcoEngineeriya*. 2022. No. 4(113): 104-114. (In Russian)

Введение

Проблема инвазий не является новой, поскольку перемещение видов в пределах континентов и между ними происходило всегда. Особую остроту она приобрела в настоящее время. Это связано с большой мобильностью населения, а также высокой интенсивностью перемещения различных грузов, в том числе и с живыми объектами. В считанные часы микроорганизмы, растения и животные могут переместиться через океан и попасть на новый для них континент. Оптимальные для развития и размножения условия, а также отсутствие естественных врагов часто являются триггером для бесконтрольного расширения ареала обитания в новых условиях. В случаях наличия агрессивных свойств, способности вытеснения аборигенных видов из биоценозов возникает явление инвазии. Оно резко усугубляется при наличии опасных качеств (наличие ядов, устойчивость к внешним воздействиям и т. п.). В число опасных инвазионных видов входят насекомые, моллюски, ракообразные, млекопитающие, растения и другие группы живых организмов [1-4].

На двенадцатой Конференции Сторон (КС-12) приняты Айтинские целевые задачи, которые затрагивают вопросы сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия на планете, а также возможные пути решения связанных с этим проблем [5].

Быстрое распространение, а также устойчивость инвазионных видов связана, прежде всего, с отсутствием в экосистемах их естественных врагов. Попытки же привлечения для этой цели аборигенных видов, которые обладают высокой степенью агрессии, обычно не имеют успеха.

Для успешного внедрения в естественные экосистемы многим инвазионным видам растений требуется одно общее условие – нарушение почвенного слоя. Плотная, хорошо выраженная дернина обычно препятствует прорастанию семян и закреплению инвазионных видов на новых территориях [6, 7].

Особую опасность представляют трансформеры, то есть инвазионные виды, которые способны достаточно быстро вносить изменения в естественные экосистемы [8, 9, 10].

Как классический пример этого, с явными проявлениями признаков экологической катастрофы является быстрое увеличение ареала ядовитого инвазионного вида – борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden).

Материалы и методы

Для изучения использовали растения борщевика Сосновского, у которых завершалась фаза бутонизации, и происходило разворачивание соцветий. Объекты разделили на пять групп по высоте цветоносных побегов, которые были сформированы в процессе онтогенеза. В момент развертывания соцветий проводили отчуждение цветоносных побегов в их основании. Наблюдения продолжали в период образования новых цветоносных побегов. Определение длины цветоносных побегов проводили как расстояние от поверхности почвы до верхней точки соцветия. Статистическую обработку полученных данных проводили по Доспехову [11].

Результаты и обсуждение

В настоящее время признаки экологической катастрофы отмечены в связи с интенсивным распространением на территории нашей страны ядовитого инвазионного вида борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden). Разработано несколько способов борьбы с этим видом. Однако большинство из них являются достаточно опасными в связи с применением сильнодействующих химических агентов. Поэтому в качестве перспективных можно рассматривать способы, которые основаны на естественных процессах, и не представляют большой угрозы. В частности – с использованием многолетних трав.

Проведено большое число исследований, которые показали, что создание плотной дернины за счет сеяных трав является, по сути, экологически чистым и достаточно эффективным способом сокращения ареала ядовитого инвазионного вида борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) на всей территории нашей страны.

В качестве наиболее простого и реального способа предлагается использование гербицида селективного действия с последующим формированием дернового покрова посредством посева семян трав, устойчивых к подобному гербициду [12]. Для этого используют защитное покрытие из геосинтетического материала. Семена помещают в гранулы, которые содержат стимуляторы роста и клеевой наполнитель. Травяную смесь составляют с учетом специфических особенностей региона.

Использование сеяных трав для борьбы с борщевиком Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* M.) посредством образования дернового слоя предлагается с применением сплошного гибкого водопроницаемого геосинтетического материала плотностью 100 г/м^2, который позволяет корням трав проникать через него. Посев трав доминантов в этом случае проводят на грунт, который слоем 5 см насыпают на указанный материал. В этом случае используют повышенную норму высева (10-30 кг/га) и одновременно вносят минеральные удобрения [13].

Предварительная обработка гербицидом системного действия, который обладает также и почвенной активностью, используется и в способе, который включает в себя последующий посев злаковых трав. Именно дерновый покров, который образуют многолетние злаки, не позволяет семенам борщевика, сохранившим жизнеспособность, прорасти и образовать новую плантацию [14].

Разработан способ борьбы с борщевиком Сосновского, который также предполагает использование многолетних трав: щучки дернистой, вейника наземного, райграса французского, клевера лугового. Для повышения эффективности проводят двукратное скашивание растений борщевика с интервалом в две недели, затем обработку гербицидами. Через три недели высевают многолетние травы [15].

Большой интерес представляет собой разработанный в Санкт-Петербургском НИИ лесного хозяйства способ защиты территории от повторной инвазии борщевиком. В исследованиях отмечено, что при обработке территории селективными гербицидами, которые эффективно уничтожают вегетирующие растения борщевика, но являются не токсичными или слаботоксичными к однодольным, и в частности – к злаковым видам, происходит устойчивое изменение структуры фитоценоза. Поскольку экологическое давление, которое оказывали растения борщевика, прекращается, начинается процесс стимуляции развития многолетних злаковых видов. В результате этого формируется плотная дернина, которая препятствует появлению новых всходов борщевика [16].

В рекомендациях по борьбе с борщевиком Сосновского в личных подсобных хозяйствах указаны такие механические варианты как проведение регулярного скашивания в

течение всего вегетационного периода, а также мульчирование почвы светонепроницаемыми пленками, которые нужно присыпать грунтом и высевать многолетние травы [17].

Эффективность скашивания наземной массы достаточно низка (в пределах 5,2-12,1%), поскольку через короткое время рост наземной массы возобновляется и процедуру следует повторять несколько (до 4) раз в течение вегетационного периода [18].

В наших ранее проведенных [19-21] и настоящих исследованиях приводятся наблюдения за реакцией растений борщевика Сосновского на отчуждение цветоносных побегов в период развертывания соцветий (рис. 1).

Рис. 1. Формирование цветоноса после скашивания
– цветонос, образовавшийся после удаления предыдущего цветоносного побега растения;
1 – вегетирующие листья; 2 – отмершие листья.

Размеры цветоносов «второй волны» существенно меньше (рис. 2). Срез стебля проводили на расстоянии 3-5 см от поверхности почвы.

Следует отметить мощную работу корневой системы (нижний концевой двигатель). За счет высокого корневого давления на поверхности среза в течение нескольких дней выделялась жидкость.

После скашивания цветоносный побег появился в наземной части стебля. Причем, формирование бутонов происходило одновременно с ростовыми процессами. При достижении высоты в несколько десятков сантиметров происходило развертывание генеративных органов и переход непосредственно к процессу цветения.

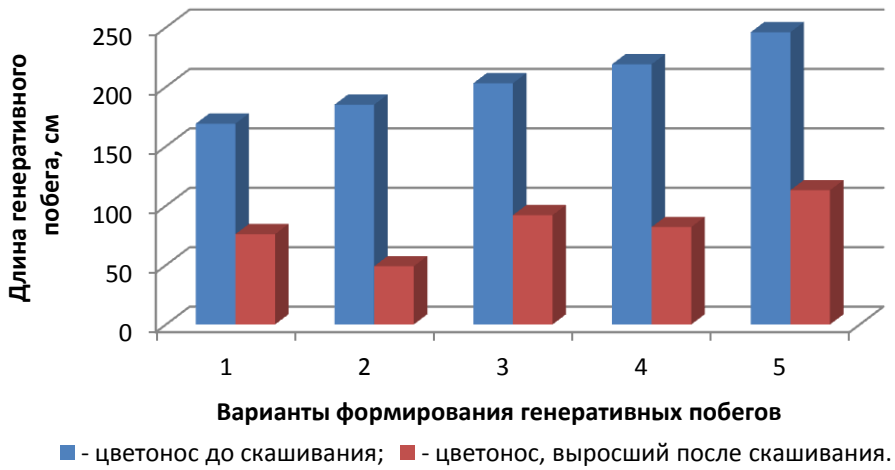


Рис. 2. Влияние скашивания на формирование генеративных органов у растений борщевика Сосновского:
1, 2, 3, 4, 5 – группы растений по высоте цветоносов в исходном состоянии.

Таким образом, заложенный в онтогенезе процесс формирования цветоносов даже в случае отчуждения уже сформированных бутонов и соцветий повторяется.

Отмечена также тенденция в величине размеров новых цветоносных побегов. У растений, имевших большую высоту цветоноса, при повторном формировании нового цветоносного побега его высота тоже в среднем была выше. Эту закономерность подтверждает также и коэффициент корреляции (r = 0,76).

Результаты исследования объясняют картину, которая из года в год повторяется в осенний период (рис. 3).

Рис. 3. Возобновление цветения растений борщевик Сосновского на обочине дороги после отчуждения цветоносных побегов

Вдоль дорог можно видеть заросли борщевика Сосновского, которые в течение лета несколько раз (обычно два или три) обкашивали. Видны засохшие стебли и листья, которые были скошены накануне. В результате образуются невысокие цветоносы с распустившимися соцветиями.

Заключение

Скашивание в чистом виде без сочетания с другими способами, как прием борьбы с борщевиком Сосновского, имеет очень низкий коэффициент полезного действия:

- не отчужденные зеленые наземные части растения (основания стеблей, молодые низко расположенные листья) в процессе скашивания и сразу после него не прекращают процесс фотосинтеза. Это значит, что если растение не перешло к генеративным процессам, то накопление пластических веществ в корневой системе продолжается. Лишь на некоторое время снижается его интенсивность;

- удаление генеративных побегов не может предотвратить образование плодов. Их количество будет меньше, однако достаточно для увеличения ареала обитания. У растений,

имевших большую высоту цветоноса, при повторном формировании нового цветоносного побега его высота тоже в среднем была выше (r = 0,76);

- для достижения хотя бы минимальных положительных результатов необходимо проведение многократного скашивания в течение всего вегетационного периода, что сопряжено с большими материальными и финансовыми затратами.

Кроме многократного скашивания и опрыскивания химическими препаратами предлагается использовать представленные экологические способы борьбы с инвазивными растениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). Ред. Дгебуадзе Ю.Ю., Петросян В.Г., Хляп Л.А. М.: Т-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.

2. Устинова Е.Н., Изучение способности наземных моллюсков московской области использовать в пищу инвазионные виды рода *Solidago (S. canadensis, S. gigantea*) // *Российский журнал биологических инвазий*. 2019. № 12 (3). С. 117-129.

3. Леострин А.В., Майоров С.Р. *Cardamine occulta Hornem. (Brassicaceae)* во флоре Европейской России: инвазионный статус и распространение // *Российский журнал биологических инвазий*, 2019. №2. С. 52-64.

4. Афонин А. Н., Федорова Ю. А., Ли Ю. С. Характеристика частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisifolia* L.) в связи с оценкой потенциала её распространения на европейской территории России // *Российский журнал биологических инвазий*. 2019. №2. С. 30-39.

5. Convention on Biological Diversity (CBD). Synthesis report of the online forum on Invasive Alien Species, Ad hoc Technical expert group on invasive alien species, Montreal, Canada, 2-4 December 2019, 32 p. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.cbd.int/doc/c/d56b/254f/f263e27be6e1bb97f564e21d/ias-ahteg-2019-01-inf-01-en.pdf (дата обращения 07.12.2022)

6. Уфимцев В.И. Особенности распространения Solidago canadensis L. в нарушенных сообществах междуреченского городского округа / *Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов*. Материалы V международной конференции (Кемерово, 02–03 октября 2018 г.). Кемерово: ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН», 2018. С. 119-120.

7. Савин И.Ю., Шишконакова Е.А. Пространственные особенности экспансии инвазивных видов золотарника в центральных областях европейской части России // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2021. №85 (3), С. 446-457.

8. Burlutskiy V.A., Mazurov V.N., Osokin I.E., Peliy A.F., Semeshkina P.S. Development and use of synanthropic phytocenoses with complex invasion in Kaluga Region // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019. Vol.14 (2), pp. 114-122.

9. Myśliwy M. Senecionetum fluviatilis in Poland from a European perspective – diversity, distribution and threats. *Plant Biosystems*. 2020. Vol. 154 (6), pp. 814-826.

10. Teixeira L.H., Yannelli F.A., Ganade G., Kollmann J. Functional diversity and invasive species influence soil fertility in experimental grasslands. *Plants*. 2020. Vol. 9 (1), 53.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2011, 350 с.

12. Львов С.М., Шашова М.В. Способ уничтожения борщевика Сосновского. Патент РФ № 2297141. 20.04.2007 г.

13. Чадин И.Ф., Далькэ И.В. Способ уничтожения зарослей гигантского борщевика на землях несельскохозяйственного назначения. Патент РФ № 2399204. 20.09.2010 г.

14. Егоров А. Б, Павлюченкова Л. Н. Способ уничтожения борщевика. Патент РФ № 2683517. 28.03.2019 г.

15. Шаповалов Д. А., Озерова Н. А., Кривошеина М. Г., Озеров А. Л., Широкова В. А., Хуторова А. О., Озерова А. А. Способ защиты земель от распространения борщевика Сосновского. Патент РФ № 2750754. 02.07.2021 г.

16. Егоров А.Б., Павлюченкова Л.Н. Проблемы борьбы с борщевиком Сосновского и пути их решения на землях разного назначения // *Защита и карантин растений*. 2021. №3. С. 12-15.

17. Рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского в личных подсобных хозяйствах (в редакции от 01.03.2022 г.). СПб.: Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Ленинградской, области. 2022. 2 с.

18. Шкляревская О.А. Экономическая эффективность механических и химических методов борьбы с борщевиком Сосновского // *Защита растений*. 2019. №43. С. 120-127.

19. Семчук Н. Н., Гладких С. Н., Перекопский А. Н., Балун О. В. Влияние инвазионных видов на устойчивость локальных биогеоценозов / *Инновационное развитие агропромышленного, химического, лесного комплексов и рациональное природопользование*: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. Великий Новгород, 7 апреля 2022 г. / под ред. К. Н. Ларичевой; отв. ред. Т. В. Вобликова; Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2022. С. 299-303.

20. Семчук Н. Н., Шишов А. Д., Балун О. В. Способ бесконтактного удаления растения борщевик Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi*) с контролируемой территории. Патент РФ № 2704428. 28.10. 2019.

21. Семчук Н.Н., Балун О.В., Гладких С.Н., Абдушаева Я.М. Трансформация травянистого культурного растения в опасный инвазионный дикорастущий вид / АгроЭкоИнженерия. 2021. № 4 (109). С. 29-40.

REFERENCES

1. Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (TOP-100). Red. Dgebuadze Yu.Yu., Petrosyan V.G., Khlyap L.A. [The most dangerous invasive species in Russia (TOP-100) / Eds. Yu.Yu. Dgebuadze, V.G. Petrosyan, L.A. Khlyap]. Moscow: T-vo nauchnykh izdanii KMK [KMK Scientific Press Ltd], 2018. 688 p. (In Russian)

2. Ustinova E.N., Izuchenie sposobnosti nazemnykh mollyuskov moskovskoi oblasti ispol'zovat' v pishchu invazionnye vidy roda Solidago (S. canadensis, S. gigantea) [The ability of terrestrial mollusks of the Moscow Region to feed on invasive species of the genus *Solidago (S. Canadensis, S. Gigantea*)]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*. 2019. No. 12 (3): 117-129 (In Russian)

3. Leostrin A.V., Mayorov S.R. Cardamine occulta Hornem. (Brassicaceae) vo flore Evropeiskoi Rossii: invazionnyi status i rasprostranenie [Current state and distribution of alien weedy *Cardamine occulta Hornem. (Brassicaceae)* in European Russia]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2019. No. 2: 52-64 (In Russian)

4. Afonin A. N., Fedorova Yu. A., Li Yu. S. Kharakteristika chastoty vstrechaemosti i obiliya ambrozii polynnolistnoi (*Ambrosia artemisifolia* L.) v svyazi s otsenkoi potentsiala ee rasprostraneniya na evropeiskoi territorii Rossii [Character of occurrence and abundance of

common ragweed (*Ambrosia Artemisiifolia* L.) with evaluation of its distribution potential in European Russia]. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*. 2019. No. 2: 30-39 (In Russian)

5. Convention on Biological Diversity (CBD). Synthesis report of the online forum on Invasive Alien Species, Ad hoc Technical expert group on invasive alien species, Montreal, Canada, 2-4 December 2019, 32 p. Available at: https://www.cbd.int/doc/c/d56b/254f/f263e27be6e1bb97f564e21d/ias-ahteg-2019-01-inf-01-en.pdf (accessed 07.12.2022)

6. Ufimtsev V.I. Osobennosti rasprostraneniya *Solidago canadensis L*. v narushennykh soobshchestvakh mezhdurechenskogo gorodskogo okruga [Features of distribution of the *Solidago Canadensis L*. in the degraded communities of the Mezhdurechensk town district]. *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov* [Problems of industrial botany in industrialized regions]. Proc. V Int. Conf. (Kemerovo, 02–03 October 2018). Kemerovo: FGBNU “Federal'nyi issledovatel'skii tsentr uglya i uglekhimii SO RAN” [Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS], 2018: 119-120 (In Russian)

7. Savin I.Yu., Shishkonakova E.A. Prostranstvennye osobennosti ekspansii invazivnykh vidov zolotarnika v tsentral'nykh oblastyakh evropeiskoi chasti Rossii // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2021. №85 (3), S. 446-457.

8. Savin I.Yu., Shishkonakova E.A. Prostranstvennye osobennosti ekspansii invazivnykh vidov zolotarnika v tsentral'nykh oblastyakh evropeiskoi chasti Rossii [Spatial features of goldenrods (invasive *Solidago* species) expansion in central regions of European part of Russia]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya.* 2021. No.85 (3): 446-457 (In Russian)

9. Burlutskiy V.A., Mazurov V.N., Osokin I.E., Peliy A.F., Semeshkina P.S. Development and use of synanthropic phytocenoses with complex invasion in Kaluga Region // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries.* 2019. No.14 (2): 114-122 (In English)

10. Myśliwy M. Senecionetum fluviatilis in Poland from a European perspective – diversity, distribution and threats. *Plant Biosystems*. 2020. Vol. 154 (6): 814-826.

11. Teixeira L.H., Yannelli F.A., Ganade G., Kollmann J. Functional diversity and invasive species influence soil fertility in experimental grasslands. *Plants*. 2020. Vol. 9 (1), 53.

12. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experiment methodology]. Moscow: Al'yans, 2011, 350 p. (In Russian)

13. L'vov S.M., Shashova M.V. Sposob unichtozheniya borshchevika Sosnovskogo [Method to destroy Sosnovsky’s hogweed]. Patent on invention RU No. 2297141. 20.04.2007. (In Russian)

14. Chadin I.F., Dal'ke I.V. Sposob unichtozheniya zaroslei gigantskogo borshchevika na zemlyakh nesel'skokhozyaistvennogo naznacheniya [Method for destroying thickets of giant hogweed on non-agricultural lands]. Patent RU on invention No 2399204. 20.09.2010. (In Russian)

15. Egorov A. B, Pavlyuchenkova L. N. Sposob unichtozheniya borshchevika [Method of destruction of cow parsnip]. Patent on invention RU No. 2683517. 28.03. 2019 (In Russian)

16. Shapovalov D. A., Ozerova N. A., Krivosheina M. G., Ozerov A. L., Shirokova V. A., Khutorova A. O., Ozerova A. A. Sposob zashchity zemel' ot rasprostraneniya borshchevika

Sosnovskogo [Method of protecting land from the spread of hogweed Sosnovsky]. Patent RU on invention No 2750754. 02.07.2021. (In Russian)

17. Egorov A.B., Pavlyuchenkova L.N. Problemy bor'by s borshchevikom Sosnovskogo i puti ikh resheniya na zemlyakh raznogo naznacheniya [Challenges for *Heracleum Sosnovskyi* management and means for their solving on lands for different purposes]. *Zashchita i karantin rastenii*. 2021. No. 3: 12-15 (In Russian)

18. Rekomendatsii po bor'be s borshchevikom Sosnovskogo v lichnykh podsobnykh khozyaistvakh (v redaktsii ot 01.03.2022 g.) [Recommendations for the Sosnowsky's hogweed control in personal subsidiary plots (as amended on 01.03. 2022)]. Saint Petersburg: Filial FGBU «Rossel'khoztsentr» po Leningradskoi, oblasti [Branch of the Federal State Budgetary Institution "Rosselkhoztsentr" in the Leningrad Region]. 2022. 2 p. (In Russian)

19. Shklyarevskaya O.A. Ekonomicheskaya effektivnost' mekhanicheskikh i khimicheskikh metodov bor'by s borshchevikom Sosnovskogo [Economic efficiency of mechanical and chemical methods for *Heracleum Sosnowskyi* control]. *Zashchita rastenii*. 2019. No. 43: 120-127 (In Russian)

20. Semchuk N. N., Gladkikh S. N., Perekopskii A. N., Balun O. V. Vliyanie invazionnykh vidov na ustoichivost' lokal'nykh biogeotsenozov [Influence of invasive species on the stability of local biogeocenoses] In: *Innovatsionnoe razvitie agropromyshlennogo, khimicheskogo, lesnogo kompleksov i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Innovative development of agro-industrial, chemical, forestry complexes and rational nature management]. Proc. All-Russia Sci. Prac. Conf. Veliky Novgorod, 7 April 2022 (K. N. Laricheva, T. V. Voblikova (eds.). Veliky Novgorod: Yaroslav-The-Wise Novgorod State Univ. 2022: 299-303 (In Russian)

21. Semchuk N. N., Shishov A. D., Balun O. V. Sposob beskontaktnogo udaleniya rasteniya borshchevik Sosnovskogo (*Heracleum Sosnowskyi*) s kontroliruemoi territorii [Method for contactless removal of plants of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum Sosnowskyi*) from controlled territory]. Patent on invention RU No. 2704428. 28.10.2019. (In Russian)

22. Semchuk N.N., Balun O.V., Gladkikh S.N., Abdushaeva Ya.M. Transformatsiya travyanistogo kul'turnogo rasteniya v opasnyi invazionnyi dikorastushchii vid [Transformation of an herbaceous cultivated plant into a dangerous invasive wild species]. *AgroEkoInzheneriya*. 2021. No. 4 (109): 29-40 (In Russian)

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

УДК 631.22: 636.083 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-114-120

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ В КОРОВНИКЕ С БЕСПРИВЯЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ

Вторый В.Ф., д-р техн. наук Базыкин В.И.
Вторый С.В., канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Фермы крупного рогатого скота являются значительным источником парниковых и других вредных газов, которые при превышении предельно допустимых концентраций представляют опасность для здоровья животных и обслуживающего персонала. Основными парниковыми газами, продуктами жизнедеятельности животных являются углекислый газ и метан, который превосходит углекислый газ по парниковой способности в 25 раз. Аммиак и сероводород не являются парниковыми газами, однако требуют постоянного контроля концентрации в воздухе фермы. Цель исследований – оценка условий содержания молочных коров, интенсивности эмиссии парниковых и нормируемых газов на фермах КРС в зависимости от внешних условий, технологий обслуживания животных. Исследования проводились в коровнике беспривязного содержания на 320 скотомест в два этапа при различных погодных условиях. Измерения параметров микроклимата выполнялись в пяти точках помещения серийным газоанализатором «ЭЛАН плюс» и переносным измерительным комплексом ПИК-4 по разработанной методике. Результаты измерений обработаны с использованием пакета программ MS Excel. Средняя концентрация газов на расстоянии 2 км от фермы составила по аммиаку 0,55 мг/м^3, сероводороду – 0,10 мг/м^3, углекислому газу – 365 ppm, метану – 133 мг/м^3. Параметры микроклимата в коровнике изменялись в зависимости от внешних погодных условий. Концентрация газов в воздухе помещения составила по аммиаку 5,9 -11,43мг/м^3, сероводороду – 0,17 - 0,48 мг/м^3, углекислому газу – 1776- 2011 ppm при максимальных значениях в одной точке до 2580 ppm, метану – 195-330 мг/м^3. В период проведения исследований условия содержания коров с точки зрения газового состава воздуха помещения соответствовали установленным нормативам и были благоприятными для получения высокой продуктивности коров.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, коровник, микроклимат, парниковые газы, аммиак, сероводород.

Для цитирования: Вторый В.Ф.,Вторый С.В., Базыкин В.И. Результаты исследований концентраций климатически активных газов в коровнике с беспривязным содержанием // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4(113). С.114-121

RESEARCH RESULTS OF GREENHOUSE GASES IN A COW BARN WITH LOOSE HOUSING

V.F. Vtoryi, DSc (Engineering), V.I. Bazykin
S.V. Vtoryi, Cand. Sc. (Engineering),

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

Cattle farms are a significant source of greenhouse and other harmful gases and pose a threat to the health of animals and service personnel if the gas maximum permissible concentrations are exceeded. The main greenhouse gases, the products of animal vital activity, are carbon dioxide and methane, with the smothering potency of the latter exceeding that of the carbon dioxide by 25 times. Ammonia and hydrogen sulphide are not greenhouse gases, but they require constant monitoring of concentrations in the farm air. The research aim was to evaluate the conditions of dairy cows' housing, intensity of greenhouse and regulated gases emissions in cattle farms depending on external conditions and animal care practices. The research was conducted in a loose housing cow barn for 320 animal-places in two stages under different weather conditions. The microclimate parameters were measured in five points of the premises with a serial gas analyzer "ELAN plus" and a portable measuring complex PIK-4 by the developed method. The measurement results were processed using MS Excel software package. The average gas concentration at a distance of 2 km from the farm was 0.55 mg/m^3 for ammonia, 0.10 mg/m^3 for hydrogen sulphide, 365 ppm for carbon dioxide, and 133 mg/m^3 for methane. Microclimate parameters in the cow barn varied depending on external weather conditions. Gas concentrations in the cow barn air were as follows: ammonia – 5.9-11.43 mg/m^3, hydrogen sulphide – 0.17-0.48 mg/m^3, carbon dioxide – 1776-2011 ppm, with the maximum values in one point being up to 2580 ppm, and methane – 195-330 mg/m^3. During the study period, the conditions of cow housing in terms of inside air gas composition met the established standards and were favourable for high productivity of cows.

Key words: cattle, cow barn, microclimate, greenhouse gasses, ammonia, hydrogen sulphide

For citation: Vtoryi V.F., Vtoryi S.V., Bazykin V.I. Research results of greenhouse gases in a cow barn with loose housing. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 114-121 (In Russian)

Введение

В России растет производство молока, при этом фермы КРС являются значительным источником климатически активных газов. Ежегодно из животноводческих помещений удаляется 39 млрд. м^3 углекислого газа, 1,8 млрд. м^3 аммиака, 700 тыс. м^3 сероводорода [1].

Основным парниковым газом, продуктом жизнедеятельности животных является углекислый газ (CO_2) [2]. В результате исследований в коровниках беспривязного содержания [3] установлено, что самая высокая концентрация CO_2 наблюдается в коровниках с большей вместимостью при превышении предельно допустимых концентраций (ПДК), что представляет опасность для здоровья животных и обслуживающего персонала. Использование информационных технологий в управление параметрами микроклимата коровников позволяет снизить выбросы CO_2 при производстве животноводческой продукции на 15% [4].

Метан CH_4 — парниковый газ, выделяемый жвачными животными в процессе желудочной ферментации корма. По своей парниковой способности он в 25 раз превосходит газ углекислый, но в существующих концентрациях неопасен для животных и человека.

Аммиак NH_3 и сероводород H_2S, не являясь парниковыми газами, представляют для животных большую опасность [5]. Их содержание в воздухе фермы не должно превышать предельно допустимых концентраций.

Микроклимат коровника формируют ряд факторов. В природно-климатических условиях Северо-Запада России важными элементами являются объемно-планировочные решения, технология содержания и обслуживания коров. Комфортное содержание животных в благоприятной атмосфере обеспечивает максимальное использование их продуктивного генетического потенциала, получение продукции высокого качества [6, 7, 8].

Цель исследований: оценка условий содержания молочных коров в зависимости от внешних условий.

Материал и методы

Исследования проведены в одном из ведущих сельскохозяйственных предприятий по производству молока Ленинградской области с надоем более 10700 кг молока на фуражную корову в год.

Коровник стоечно-балочной конструкции на 320 ското-мест входит в состав молочного комплекса, содержание беспривязное, сбор подстилочного навоза производится скреперными установками и далее удаляется сборным транспортером в навозоприемник. В период проведения исследований микроклимат обеспечивался естественной системой вентиляции, постоянно открытыми дверями и окнами, в сочетании с разгонными вентиляторами. Поение животных водой осуществляется из групповых поилок. Раздача кормов мобильная два раза в сутки. На период проведения исследований заполняемость коровника животными 100%.

Измерение концентрации газов выполнялось серийным газоанализатором «ЭЛАН плюс» и переносным измерительным комплексом (разработка ИАЭП) по ранее разработанной методике. Измерительный комплекс позволяет фиксировать в памяти устройства данные с 4-х датчиков в режиме реального времени с интервалом от 0,1 с до 10 мин. Полученные результаты измерений обработаны с использованием пакета MS Excel [9, 10]. На рисунке 1 представлены измерения концентрации газов в коровнике на высоте 0,5 и 1,5 м от пола.

Измерения концентрации газов в коровнике проводились по следующей схеме: точки 1, 2 – в северном торце здания, точки 4-5 – в южном торце здания, точка 3- центр коровника.

Измерение параметров микроклимата выполнялись в летний период в два этапа. Первый этап - температура 11,5°С и относительная влажность наружного воздуха 83%, ветер северо-западный 1-2 м/с. Второй этап - температура 19°С и относительная влажность наружного воздуха 92%, ветер юго-западный 2-3 м/с.

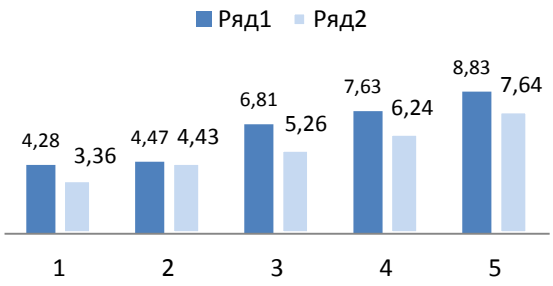
(а) (б)

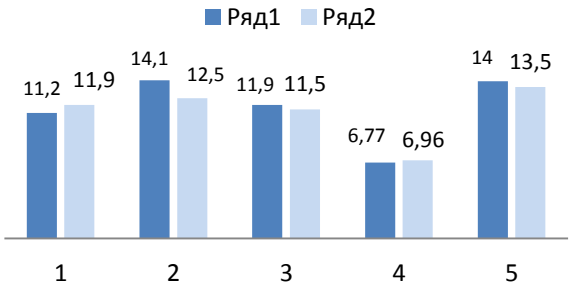
Рис. 1. Измерение параметров микроклимата:
(а) – на высоте 0,5 м от пола; (б) – на высоте 1,5 м от пола.

Результаты и обсуждение

Средняя концентрация газов наружного воздуха в 12 метрах от торцов фермы составляла: аммиак 1,77 – 3,33 мг/м^3, сероводород – 0,10 – 0,37 мг/м^3, углекислый газ 358 – 559 ppm. Концентрация метана в коровнике составила 200-330 мг/м3. Средняя концентрация газов на расстоянии 2 км от фермы составила: аммиак 0,55 мг/м^3, сероводород – 0,10 мг/м^3, углекислый газ 365 ppm, метан 133 мг/м^3.

На рисунках 2-4 представлены результаты измерений концентрации газов в коровнике.

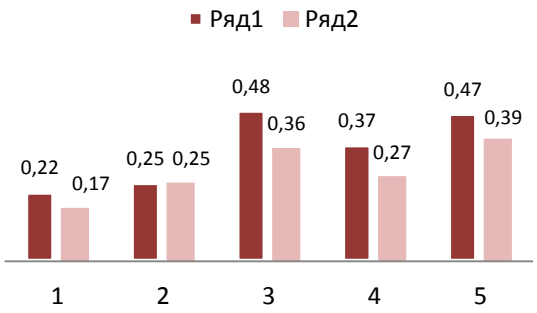


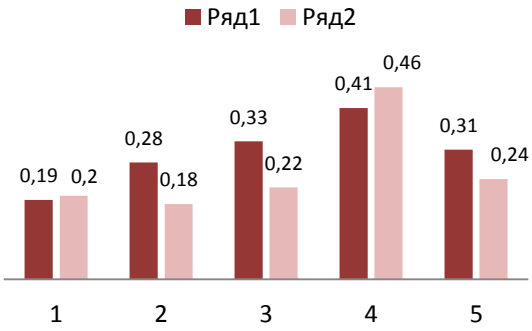


Концентрация NH^3, мг/м^3. Первый этап. Концентрация NH^3, мг/м^3. Второй этап.

Ряд 1 – на высоте 0,5 м над полом, ряд – 2 – на высоте 1,5 м над полом.

Рис. 2. Концентрация аммиака в коровнике.

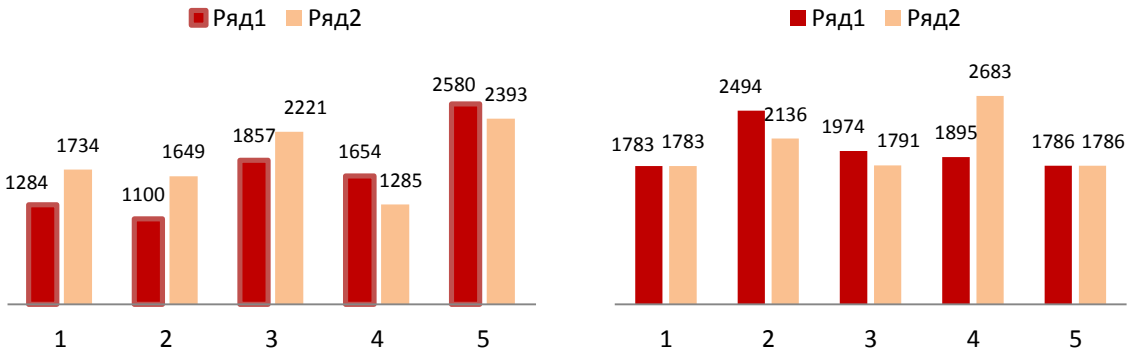




Концентрация H_2S, мг/м^3. Первый этап. Концентрация H_2S, мг/м^3. Второй этап.

Ряд 1 – на высоте 0,5 м над полом, ряд – 2 – на высоте 1,5 м над полом.

Рис. 3. Концентрация сероводорода в коровнике.



Концентрация CO_2, ppm. Первый этап. Концентрация CO_2, ppm. Второй этап.

Ряд 1 – на высоте 0,5 м над полом, ряд – 2 – на высоте 1,5 м над полом.

Рис. 4. Концентрация углекислого газа в коровнике

В зависимости от погодных условий меняется концентрация и распределение аммиака по коровнику. Так при повышении температуры с 11,5°С до 19°С концентрация аммиака в среднем выросла 5,9 мг/м^3 до 11,43 мг/м^3, что вероятно связано с уменьшением растворимости аммиака в воде при повышении температуры, перехода его из раствора в газообразное состояние. Неравномерность распространения аммиака по коровнику объясняется направлением и силой ветра обеспечивающих неравномерную вентиляцию разных частей коровника [7, 11]. Рисунок 2 на первом этапе ветер был северо-западного направления по этому северная часть коровника продувалась лучше и концентрация аммиака была ниже, а на втором этапе при юго-западном ветре соответственно в южной части коровника наблюдалась более низкая концентрация NH^3.

Распределение концентрации сероводорода (Рисунок 3) также зависит от направления ветра. При северо-западном ветре концентрация H_2S ниже в северной части, а при юго-западном в южной части коровника, причем значения ее по территории коровника изменялись от 0,17 до 0,48 мг/м^3 при среднем значении 0,33 мг/м^3 на первом этапе и 0,37 мг/м^3 на втором этапе.

Углекислый газ является парниковым и на его распространение по коровнику влияют внешние условия. Из рисунка 4 видно, что на первом этапе концентрация CO_2 ниже в северной части коровника (при северо-западном ветре), на втором этапе влияние ветра менее заметно. В тоже время средняя концентрация CO_2 на первом этапе ниже и составила 1776 ppm, а на втором этапе средняя концентрация составила 2011 ppm. Необходимо отметить, что концентрация углекислого газа на высоте 1,5м над уровнем пола в основном выше, чем на высоте 0,5 м. Учитывая, что основным источником углекислого газа являются животные, видимо на концентрацию CO_2 по высоте влияет сколько животных в настоящее время отдыхают (лежат) или стоят соответственно выдыхая углекислый газ на высоте 0,5 или 1,5 м.

Концентрация парникового газа метана CH_4 в коровнике составила 195-200 мг/м^3, в центральной части коровника над сборным навозным каналом она возрастала до 270-330 мг/м^3 при ПДК в рабочей зоне 7000 мг/м^3.

В целом необходимо отметить, что концентрации газов не превышали ПДК (NH^3 – 20 мг/м^3, H_2S – 5 мг/м^3, CO_2 – 2500 ppm), за исключением CO_2 по одной точке на каждом этапе.

Выводы

В зависимости от внешних погодных условий изменялась концентрация климатически активных газов. Концентрации газов в воздухе помещения составили: аммиака 5,9 мг/м^3-11,43мг/м^3, сероводорода 0,17 - 0,48 мг/м^3, углекислого газа 1776 – 2011ppm при максимальных значениях в одной точке до 2580 ppm, метана 195 – 330 мг/м^3

В период проведения исследований, условия содержания коров с точки зрения газового состава воздуха в основном соответствовали установленным нормативам и были благоприятными для получения высокой продуктивности коров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вторый В.Ф. Структура системы конверсии вредных газов из воздушной среды коровника // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 2 (99). С.286-295.

2. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. № 23(4). С. 572-579.

3. Dimov D., Marinov I., Penev T., Miteva Ch., Gergovska Zh. Animal hygienic assessment of air carbon dioxide concentration in semi-open freestall barns for dairy cows. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019. No. 25(2), pp. 354-362

4. Иванов Ю.А. Стратегические направления развития молочного скотоводства // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. №2(46). С. 18-23.

5. Zhifang Shi, Xiaoqin Sun, Yao Lu, Lei Xi, Xin Zhao. Emissions of ammonia and hydrogen sulfide from typical dairy barns in central China and major factors influencing the emissions. *Scientific Reports*. 2019.Vol. 9, 13821

6. Вторый В.Ф., Вторый С.В., Гордеев В.В. Влияние объемно-планировочных решений на микроклимат в корованиках // *Аграрный научный журнал*. 2022. №9. С.92-95.

7. Новиков Н.Н. Технические решения для обеспечения комфортных условий содержания животных // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. №3(47). С. 28-35.

8. Mylostyvyi R., Vysokos M., Timoshenko V., Muzyka A. et al. Features of the formation and monitoring of the microclimate in non-insulated barns: unresolved issues. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2020. No. 8 (2). pp. 73-85. DOI: 10.32819/2020.82011

9. Осетрова И.С., Осипов Н.А. Microsoft Excel 2010 для аналитиков. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 65 с.

10. Валге А.М. Использование систем Excel и Mathcad при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства (Методическое пособие). СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2013. 200 с.

11. Новиков Н.Н. Энергоэффективные системы микроклимата в помещениях для содержания животных. *Вестник ВНИИМЖ*. 2018. №4(32). С.159-167.

REFERENCES

1. Vtoryi V.F. Struktura sistemy konversii vrednykh gazov iz vozdushnoi sredy korovnika [The structure of the conversion system of harmful substances found in the cow barn air]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 2 (99): 286-295 (In Russian)

2. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Istochniki emissii uglekislogo gaza na molochnykh fermakh krupnogo rogatogo skota [Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2022. No. 23(4): 572-579 (In Russian)

3. Dimov D., Marinov I., Penev T., Miteva Ch., Gergovska Zh. Animal hygienic assessment of air carbon dioxide concentration in semi-open freestall barns for dairy cows. *Bulgarian Journal of Agricultural Science,* 2019. No. 25(2): 354-362

4. Ivanov Yu.A. Strategicheskie napravleniya razvitiya molochnogo skotovodstva [Strategic directions of dairy cattle breeding development]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve.* 2022. No. 2(46): 18-23 (In Russian)

5. Zhifang Shi, Xiaoqin Sun, Yao Lu, Lei Xi, Xin Zhao. Emissions of ammonia and hydrogen sulfide from typical dairy barns in central China and major factors influencing the emissions**.** *Scientific Reports.* 2019.Vol. 9: 13821

6. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V., Gordeev V.V. Vliyanie ob"emno-planirovochnykh reshenii na mikroklimat v korovanikakh [Effect of space and layout solutions on the barn microclimate]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2022. No. 9: 92-95 (In Russian)

7. Novikov N.N. Tekhnicheskie resheniya dlya obespecheniya komfortnykh uslovii soderzhaniya zhivotnykh [Technical solutions for ensuring comfortable housing conditions of animals in hot weather]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2022. No. 3(47): 28-35 (In Russian)

8. Mylostyvyi R., Vysokos M., Timoshenko V., Muzyka A. et al. Features of the formation and monitoring of the microclimate in non-insulated barns: unresolved issues. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2020. No. 8(2). pp. 73-85. DOI: 10.32819/2020.82011 (In English)

9. Osetrova I.S., Osipov N.A. Microsoft Excel 2010 dlya analitikov [Microsoft Excel 2010 for Analysts]. Saint Petersburg: NIU ITMO, 2013. 65 p. (In Russian)

10. Valge A.M. Ispol'zovanie sistem Excel i Mathcad pri provedenii issledovanij po mekhanizatsii sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva (Metodicheskoe posobie) [Application of Excel and Mathcad in research related to mechanisation of agricultural production/ Guidance manual]. SPb.: GNU SZNIIMESKH Rossel'khozakademii, 2013, 200 p. (In Russian)

11. Novikov N.N. Energoeffektivnye sistemy mikroklimata v pomeshcheniyakh dlya soderzhaniya zhivotnykh [Energy efficient microclimate systems for animal houses]. *Vestnik VNIIMZh*. 2018. No. 4(32): 159-167 (In Russian)

УДК 631.363 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-121-128

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЖИДКОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ ЦЕЛЬНОГО МОЛОКА В СМЕСИТЕЛЕ

В. Ф. Вторый, д-р. техн. наук;
С.В. Вторый, канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Заменитель цельного молока (ЗЦМ) имеет однородный состав, обеспечивает сбалансированное поступление питательных, минеральных веществ и витаминов в организм животного, необходимых для развития скелета и мышечной ткани теленка. Его применение удешевляет процесс выращивания молодняка, исключает передачу заболеваний от матери, а также позволяет добавлять биологически активные вещества в их рацион. Целью исследования являлось определение параметров и режимов работы смешивающего устройства системы приготовления жидкого заменителя цельного молока. Исследования проведены на базе лаборатории ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Основной задачей было приготовить высококачественную смесь с температурой 40,0±2 °С и соотношением компонентов сухого ЗЦМ и воды 1:9. Время приготовления смеси жидкого ЗЦМ включало период дозирования порошка ЗЦМ в воду (40 секунд), и период смешивания компонентов (50, 150 и 250 секунд). Экспериментальные исследования смешивающего устройства позволили уточнить его параметры и режимы работы: частота вращения вала мешалки в процессе приготовления составила 24 об/с, время смешивания – 150 секунд при средних затратах мощности на процесс 287 Вт, температура полученной готовой смеси – 41,2±0,2 °С. Применение разрабатываемой установки для приготовления смеси ЗЦМ молодняку КРС, в комплекте из смесителя и бункера дозатора, позволит получать качественную смесь жидкого ЗЦМ необходимой питательной ценности и температуры.

Ключевые слова: теленок, заменитель цельного молока, дозатор, смеситель, смешивание

Для цитирования: Вторый В.Ф., Вторый С.В. Определение параметров процесса приготовления жидкого заменителя цельного молока в смесителе // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4(113). С.121-128

DETERMINATION OF PROCESS PARAMETERS FOR PREPARATION OF LIQUID WHOLE MILK REPLACER IN A MIXER

V.F. Vtoryi, DSc (Engineering), S.V. Vtoryi, Cand. Sc. (Engineering)

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The whole milk replacer has a homogeneous composition and provides a balanced supply of animals with nutrients, minerals and vitamins for the development of the calf skeleton and muscle tissue. When used in young animals growing, it reduces the costs, eliminates the disease transmission from the mother, and also allows to add bioactive ingredients in the diet. The study aim was to determine the parameters and operating modes of the mixing device within the system for liquid whole milk replacer preparation. The study was performed in the laboratory of IEEP-branch of FSAC VIM. The main task was to prepare a high-quality mixture with a temperature of 40.0 ± 2 °C and with a ratio of components of dry milk replacer and water of 1:9. The preparation

time of the liquid milk replacer mixture included the period of dosing the milk replacer powder into water (40 seconds), and the period of mixing the components (50, 150 and 250 seconds). Experimental studies of the mixing device made it possible to clarify its parameters and operating modes: the rotational speed of the agitator shaft during the preparation process was 24 rpm, the mixing time was 150 seconds at an average power consumption of 287 W for the process, the temperature of prepared mixture was 41.2 ± 0, 2 °C. The developed unit for preparation of liquid milk replacer for young cattle with mixing and dosing devices will allow to produce a high-quality liquid milk replacer of the required nutritional value and temperature.

Key words: calf, whole milk replacer, dispenser, mixer, mixing

For citation: Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Determination of process parameters for preparation of liquid whole milk replacer in a mixer. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 121-128.(In Russian)

Введение

Все необходимые питательные вещества телята получают от матери с натуральным молоком, но при этом существует опасность передачи болезней матери. Так же молоко в процессе селекции животных стало более жирным, и может менять свои качественные показатели каждый день в зависимости от рациона кормления [1]. Эффективной альтернативой в данном случае является использование заменителей цельного молока (ЗЦМ). Заменитель цельного молока имеет однородный состав, обеспечивает сбалансированное поступление питательных, минеральных веществ и витаминов в организм животного, необходимых для развития скелета и мышечной ткани теленка [2]. Его применение удешевляет процесс выращивания молодняка, исключая передачу заболеваний от матери, а так же позволяет добавлять биологически активные вещества в их рацион [3, 4] .

Технология приготовления жидкого ЗЦМ сводится к последующим технологическим операциям: дозирование воды, дозирование сухого порошка ЗЦМ и их смешивание между собой до однородного состояния. Разведение сухого порошка производится чистой водой при температуре не выше 50 ^{0}С. Смешивание проводят до полного растворения ЗЦМ, температура готовой смеси выдаваемой животным не должна превышать 40 ^{0}С [5].

Целью исследования являлось определение параметров и режимов работы смешивающего устройства системы приготовления жидкого ЗЦМ. Основными моментами работы системы приготовления жидкого ЗЦМ [6], для получения высокопитательной смеси жидкого ЗЦМ, являются точность дозирования компонентов и их качественное перемешивание при соблюдении температурных режимов [7]. Неточное дозирование сухого ЗЦМ снижает кормовую и биологическую питательную ценность кормовых смесей, а повышенный расход сухого ЗЦМ приводит к удорожанию продукции и нарушению баланса питательных веществ. Использование воды, при приготовлении смеси, выше 55 ^{0}С приводит к распаду белка и разрушению витаминов [8]. Если температура готовой смеси будет ниже 37 ^{0}С, то часть энергии животного будет расходоваться на ее подогрев, что дополнительно может повлечь за собой нарушения в процессах пищеварения. Так же, производить выпойку готовой смеси необходимо сразу после приготовления, так как компоненты, растворяемые в процессе смешивания, достаточно быстро начинают выпадать в осадок, что резко снижает питательную ценность готовой смеси.

Материалы и методы

Исследования смешивающего устройства (смесителя) системы приготовления жидкого ЗЦМ проведены на лабораторной базе ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Смеситель с

мешалкой, измерительные приборы и датчики, используемые для исследования процесса, приготовления жидкого ЗЦМ представлены на рисунке 1. Бак смеситель из нержавеющей стали, объемом 0,1 м^3, установленный на колесной раме с мешалкой и электродвигателем мощностью 0,25 кВт. Рабочий орган смесителя выполнен в виде турбинной открытой мешалки (рис. 1 поз. 3) с двумя симметричными лопастями.

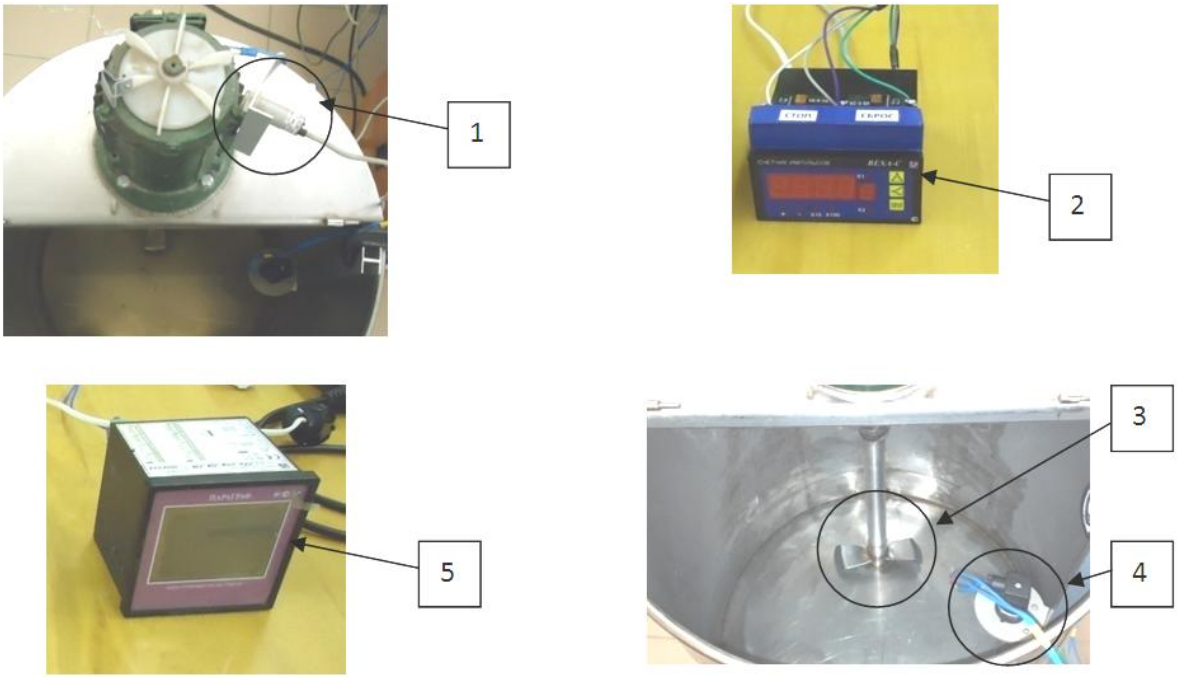


Рис. 1. Измерительные приборы и датчики используемые для исследования:

1 - датчик импульсов ВК А4; 2 -счетчик импульсов ВЕХА-С; 3 – турбинная открытая мешалка; 4 – датчик температуры Т4203; 5-регистратор данных «Параграф» PL2

Для контроля частоты вращения мешалки использовали счетчик импульсов ВЕХА-С с датчиком импульсов ВК А4, температуру воды и смеси жидкого ЗЦМ фиксировал регистратор данных «Параграф» PL2 с датчиком температуры Т420. При измерении электрических параметров трехфазной сети переменного тока применяли мультиметр трехфазный *Omix P99,* им определялись сила тока (I, А), напряжение (U, В), cos φ электродвигателя. Эффективность работы смесителя исследовали при постоянной частоте вращения электродвигателя.

Для определения качества готовой смеси использовали тест на скорость расслоения заменителя, суть которого заключается в отстаивании проб готовой смеси, сразу после приготовления, с замером выпавшего осадка в мерных стаканах через определенный интервал времени [9].

Основной задачей было приготовить качественную смесь с температурой 40,0±2 °С. Продукт готовился из компонентов сухого ЗЦМ и воды в соответствии с рекомендациями производителя, из расчета 100 г сухого ЗЦМ на 900 мл воды:

- Сухой ЗЦМ, кг 3,7
- Объем воды, л 34,0±0,5

Время приготовления смеси жидкого ЗЦМ, состоит из периодов дозирования порошка ЗЦМ в воду, равное 40 секундам, и смешивания компонентов - составляющее 50, 150 и 250 секунд. Дозирующее устройство представлено на рисунке 2, его производительность составляет 0,091 кг/с [10].

Рис. 2. Дозирующее устройство над смесителем

Обработка полученных результатов осуществлялась с использованием программы Excel 2010 с получением основных статистических показателей и построением графиков.

Результаты и обсуждение

В процессе приготовления смеси жидкого ЗЦМ использовалась холодная вода с температурой 15,0±1,0 °С (13,6 л), которая разбавлялась горячей водой с температурой 90,0±2,5 °С (20,4 л). В итоге получали подготовленную воду с температурой 43,0±0,5 °С. Отметим, что в качестве холодной воды использовали очищенную (механическая фильтрация) и нагретую до 70 °С, а после естественно охлажденную в баке нагревателе. Такой способ обработки воды позволяет снизить риск кишечных инфекций у телят.

Смешивание энергоемкий процесс, на рисунке 3 показаны графические зависимости, характеризующие энергозатраты и интенсивность вращения мешалки от этапов процесса приготовления жидкого ЗЦМ.

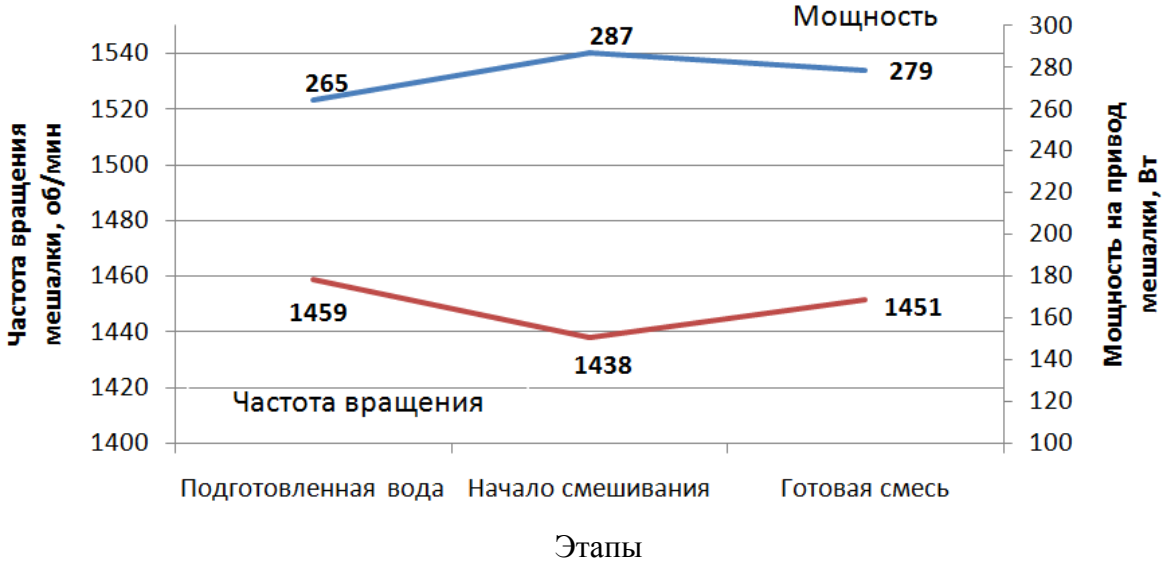


Рис. 3. График зависимости частоты вращения мешалки и мощности на привод от этапов приготовления смеси

Время смешивания имеет существенное влияние на качество смеси. Длительность процесса смешивания в 50 секунд не достаточна для качественной смеси, а увеличение длительности процесса смешивания компонентов с 150 до 250 секунд влияет на режим остывания смеси (рисунок 4). При увеличении длительности смешивания имеет место процесс ускоренного выпадения компонентов в осадок при остывании, идет процесс разделения на фракции по физико-механическому составу компонентов. Температура готовой смеси в открытой емкости смесителя, равнялась 41,2±0,2 °С, через 30 минут 39,2±0,3 °С.

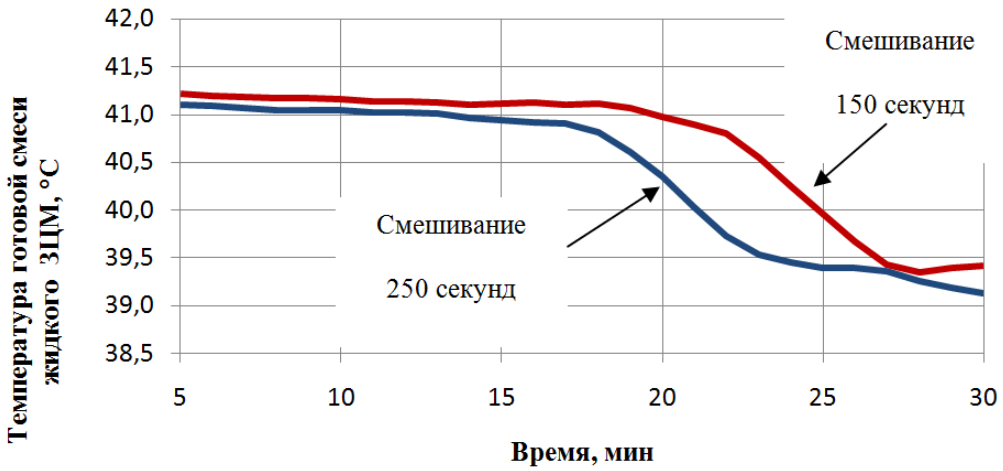


Рис. 4. График зависимости остывания смеси жидкого ЗЦМ от времени

Результаты исследования скорости выпадения нерастворенной части порошка ЗЦМ в осадок показаны на рисунке 5. Готовую смесь помещали в мерную колбу емкостью 1 литр, и с интервалом 5 минут производили замер температуры смеси и размер выпавшего осадка.

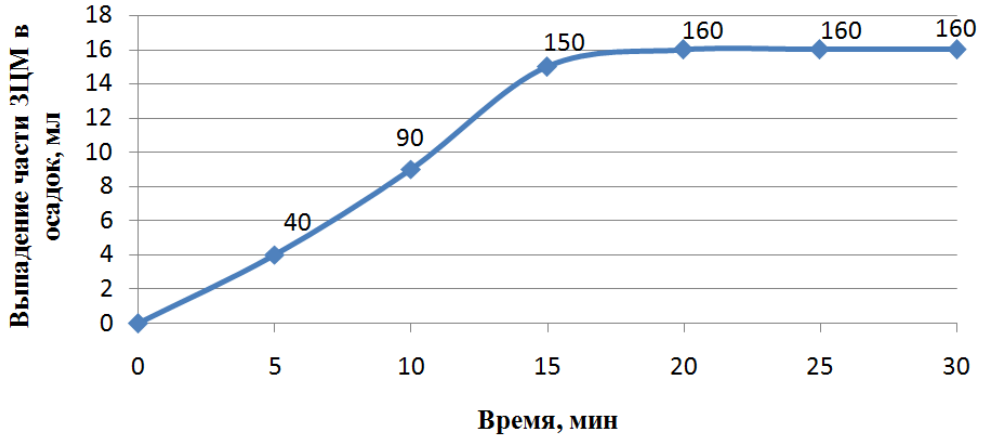


Рис. 5. График зависимости выпадения осадка от времени остывания

Как видно из рисунка 5, осадок активно выпадает в первые 15 минут, а затем процесс останавливается на отметке 160 мл, что в процентном отношении 16%. Отметим, что одни только растительные компоненты в составе сухого ЗЦМ применяемого при исследовании, по данным производителя, составляют 13%, они не растворяются в воде и всегда выпадают в осадок. Наиболее эффективной будет выдача готовой смеси в течение 5-7 минут после приготовления, что в большинстве случаев невозможно, поэтому необходимо добавить режим дополнительного перемешивания готового продукта.

Выводы

Экспериментальные исследования смешивающего устройства (смесителя) входящего в комплект разрабатываемой системы приготовления жидкого ЗЦМ позволили уточнить его параметры и режимы работы: частота вращения вала мешалки в процессе приготовления составила 24 об/с, время смешивания 150 секунд при средних затратах мощности на процесс 287 Вт, температура готовой смеси 41,2±0,2 °С.

Применение разрабатываемой установки для приготовления смеси жидкого ЗЦМ, в комплекте из смесителя и бункера дозатора, позволит получать качественную смесь необходимой питательной ценности и температуры. Предложенная установка является базой для создания роботизированного устройства выпойки жидкого ЗЦМ молодняку крупного рогатого скота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамкова Н.В., Мошкина С.В. Эффективность различных схем кормления телят в молочный период // *Вестник аграрной науки*. 2020. №4(85). С. 37-41. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.37

2. Редкозубова Л. Влияние кормления на рост и здоровье телят в молочный период // *Комбикорма*. 2018. №6. С. 80-82.

3. Борисов Н. Заменители цельного молока для телят: использовать или нет? // *Эффективное животноводство*. 2021. №2. С. 79-85.

4. Медведский В. Выращиваем телят-молочников // *Животноводство России*. 2017. №7. С. 27-34.

5. Козина Е. А., Владимцева Т.М. Применение в кормлении телят молочного периода заменителя цельного молока «Оптилак-16» // *Вестник КрасСГАУ*. 2022. №8(185). С. 128-135. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-128-135

6. Вторый С.В. Алгоритм процесса автоматического приготовления смеси жидкого ЗЦМ молодняку КРС // Агроэкоинженерия. 2021. №1(106). С. 118-127. DOI: 10.24411/2713-2641-2021-10284

7. Солонщиков П.Н., Савиных П.А. Исследование влияния конструктивных параметров смесительной установки на показатели качества смеси // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. №2(46). С. 98-103. DOI: 10.51794/27132064-2022-2-98

8. Кузнецов С. ЗЦМ для телят: его виды и инструкция по разведению [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.vitasol.ru/notes/ztsm-dlya-telyat (Дата обращения: 06.12.2022)

9. Турейко К.А. Показатели живой массы молодняка молочного периода при использовании заменителей цельного молока // *Научный журнал молодых ученых*. 2021. №2 (23). С. 45-49.

10. Вторый С.В. Совершенствование дискового дозатора для сухого заменителя цельного молока // *Агроэкоинженерия.* 2022. №2(111). С. 137-146. DOI: 10.24412/2713-2641-202-2111-137-145

REFERENCES

1. Abramkova N.V., Moshkina S.V. Effektivnost' razlichnykh skhem kormleniya telyat v molochnyi period [Effectiveness of different feeding schemes of calves in dairy period]. *Vestnik agrarnoi nauki*. 2020. No. 4(85): 37-41 (In Russian) DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.37

2. Redkozubova L. Kormlenie telyat v molochnyi period [Calf feeding during the suckling period]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2017. No.3: 61-62 (In Russian)

3. Borisov N. Zameniteli tsel'nogo moloka dlya telyat: ispol'zovat' ili net? [Whole milk substitutes for calves: to use or not?]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2021. No. 2: 79-85 (In Russian)

4. Medvedsky V. Vyrashchivaem telyat-molochnikov [Growing milk calves]. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2017. No. 7: 27-34 (In Russian)

5. Kozina E. A., Vladimtseva T.M. Primenenie v kormlenii telyat molochnogo perioda zamenitelya tsel'nogo moloka “Optilak-16” [Whole milk substitute "OPTILAK-16" application in feeding calves of milking period]. *Vestnik KrasGAU*. 2022. No. 8(185):128-135 (In Russian) DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-128-135

6. Vtoryi S.V. Algoritm protsessa avtomaticheskogo prigotovleniya smesi zhidkogo ZTsM molodnyaku KRS [Algorithm of automatic preparation of a mixture of liquid whole milk replacer for young cattle]. *AgroEkoInzheneriya*. 2021. No. 1(106): 118-127 (In Russian) DOI: 10.24411/2713-2641-2021-10284

7. Solonshchikov P.N., Savinykh P.A. Issledovanie vliyaniya konstruktivnykh parametrov smesitel'noi ustanovki na pokazateli kachestva smesi [Investigation of the influence of mixing

installation constructive parameters on mixture quality indicators]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve.* 2022. No. 2(46): 98-103. (In Russian) DOI: 10.51794/27132064-2022-2-98

8. Kuznetsov S. ZTsM dlya telyat: ego vidy i instruktsiya po razvedeniyu [Whole milk replacer for calves: its types and dilution instructions]. Available at: https://www.vitasol.ru/notes/ztsm-dlya-telyat (accessed 06.12.2022) (In Russian)

9. Tureiko K.A. Pokazateli zhivoi massy molodnyaka molochnogo perioda pri ispol'zovanii zamenitelei tsel'nogo moloka [Indicators of live weight of young animals of the suckling period when using whole milk replacers]. *Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh*. 2021. No.2 (23): 45-49 (In Russian)

10. Vtoryi S.V. Sovershenstvovanie diskovogo dozatora dlya sukhogo zamenitelya tsel'nogo moloka [Improvement of a disc dispenser for the dry whole milk replacer]. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 2(111): 137-146 (In Russian) DOI: 10.24412/2713-2641-202-2111-137-145

УДК 636.084.74 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-128-139

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОРМЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МОДУЛЕ ДЛЯ ОТКОРМА ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

И.Е. Плаксин канд. техн. наук; А.В. Трифанов канд. техн. наук; Д.А. Сошнев

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Птицеводство характеризуется быстрыми темпами воспроизводства, интенсивным ростом, высокой продуктивностью и жизнеспособностью птиц. Данная подотрасль животноводства занимает лидирующие позиции по производству мяса – в 2021 году на убой было выращено 6717,2 тыс. тонн птицы. В структуре производства мяса птицы по видам на первом месте находится мясо цыплят-бройлеров с показателем 89,7%. На сельскохозяйственные организации приходится более 92% производства данного вида мяса, доля фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей сравнительно невелика и не превышает 7,5%. Для увеличения доли мелкотоварных предприятий разработан и проходит опытно-производственную проверку технологический модуль для откорма цыплят-бройлеров. На основе проведённых исследований сделан вывод о эффективности данной разработки, так как коэффициент конверсии корма составляет 1,66, а процент падежа не превышает 7,14%, что сопоставимо с аналогичными показателями крупных птицеводческих предприятий. Для дальнейшего повышения эффективности выращивания цыплят-бройлеров в технологическом модуле ведется разработка системы управления процессом кормления птиц. Предложено технико-технологическое решение, основанное на автоматизации заполнения бункерных кормушек, а также контроле среднесуточного потребления корма на протяжении всего откормочного цикла. Система управления этим технико-технологическим

решением является локальной и не нуждается в корректировках ввиду того, что интенсивной технологией откорма цыплят-бройлеров предусмотрено кормление вволю. На основе результатов опытно-производственной проверки получено уравнение регрессии, позволяющее системе управления отслеживать адекватность расхода корма и оповещать оператора о возникновении отклонений. Выполнен подбор измерительных, усилительно-преобразовательных и исполнительных элементов системы управления.

Ключевые слова: сельское хозяйство, животноводство, птицеводство, система управления, технологический модуль.

Для цитирования: Плаксин И.Е., Трифанов А.В., Сошнев Д.А. Система управления процессом кормления в технологическом модуле для откорма цыплят-бройлеров // *АгроЭкоИнженерия.* 2022. № 4 (113). С.128-139

FEEDING CONTROL SYSTEM IN THE TECHNOLOGICAL MODULE FOR BROILER CHICKEN FATTENING

I.E. Plaksin Cand. Sc. (Engineering) A.V. Trifanov Cand. Sc. (Engineering)
D.A. Soshnev

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The noted distinctions of poultry farming are fast reproduction rates, intensive growth, high productivity, and viability of poultry. This livestock sub-sector is the leader in meat production – 6,717,200 tons of poultry were raised for slaughter in 2021. In the structure of poultry meat production by types, the meat of broiler chickens is in the first place with an indicator of 89.7%. Agricultural organizations account for more than 92% of the production of this meat type. The share of private farms and individual entrepreneurs is relatively small and does not exceed 7.5%. A technological module for broiler chicken fattening is designed to improve this situation. The pilot testing results proved its effectiveness, with the feed conversion rate being 1.66 and the mortality rate not exceeding 7.14%. These indices are comparable to those of large-scale poultry enterprises. A system for poultry feeding control is under development to improve further the efficiency of growing broiler chickens in the technological module. The suggested technical and technological solution includes the automatic filling of bunker feeders and the monitoring of the average daily feed intake throughout the entire fattening cycle. The developed control system is local and does not need any adjustments, as the intensive broiler fattening technology provides for *ad lib* feeding. The pilot tests resulted in a regression equation, which allowed the control system to monitor the adequacy of feed consumption and to notify the operator about the deviations. The set of measuring, amplifying, converting and actuating elements of the control system was tailored.

Key words: agriculture, animal husbandry, poultry farming, control system, technological module.

For citation: Plaksin I.E., Soshnev D.A., Trifanov A.V. Feeding control system in the technological module for broiler chicken fattening. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 128-139.(In Russian)

Введение

Птицеводство – это подотрасль животноводства, специализирующаяся на разведении и использовании различных видов сельскохозяйственной птицы для производства яиц, мяса, пуха и пера [1].

Данная подотрасль животноводства является одной из самых скороспелых, наукоемких, а также динамично развивающихся. Отличительными особенностями птицеводства являются: быстрые темпы воспроизводства, интенсивный рост, высокая продуктивность и жизнеспособность птиц. Обслуживание птицы требует меньших трудовых и материальных затрат для производства единицы продукции в сравнении с другими подотраслями животноводства.

Птицеводство занимает лидирующие позиции по производству мяса, за 2021 год на убой было выращено 6717,2 тыс. тонн птицы, 5496,2 тыс. тонн свиней, 2869,3 тыс. тонн крупного рогатого скота, 457,1 тыс. тонн овец и коз, а также 135,5 тыс. тонн других животных[5].

В структуре производства мяса птицы по видам первое место занимает мясо цыплят-бройлеров (89,7%), на втором месте находится мясо кур несушек (4,83%), далее следует мясо индейки (4,67%) и 0,8% приходится на мясо птиц других видов [3].

Большой объем производства мяса цыплят-бройлеров обоснован гастрономическими предпочтениями потребительского рынка страны, низким коэффициентом конверсии – 1,7, возможностью многократного повтора производственного цикла за один год (до 8 раз), отсутствием необходимости первичной переработки и разделки тушки.

По категориям хозяйств более 92% производства сосредоточено в крупных сельскохозяйственных организациях, суммарная доля крестьянско-фермерских хозяйств, индивидуальных предпринимателей и хозяйств населения не превышает 7,5%.

Сравнительно невысокий процент производства птицеводческой продукции мелкотоварными предприятиями объясняется невозможностью конкуренции с крупными хозяйствами в ценовом сегменте, что приводит к снижению рентабельности и закрытию хозяйств.

Но согласно стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации, на период до 2030 года необходимо обеспечение среднегодового темпа прироста

[5] 1. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2021 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс] https://mcx.gov.ru/upload/iblock/60d/60d8f2347d3eb724ab9b57c61a9ac269.pdf?ysclid=laqd3vhbh844521715 (дата обращения 8.12.2022 г.)

производства продукции сельского хозяйства на 5,5% и наращивание доли КФХ и ИП в данном производстве до уровня 20% [6].

Для достижения обозначенных показателей необходима разработка инновационных технико-технологических и планировочных решений, предусматривающих автоматизацию выполнения всех технологических процессов при производстве продукции.

В ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан и проходит опытно-производственную проверку технологический модуль для откорма цыплят-бройлеров, в котором реализована клеточная система содержания птицы (рис.1).

Рис.1. Технологический модуль для откорма цыплят-бройлеров

Согласно полученным данным по общему потреблению корма и приросту живой массы был определен коэффициент конверсии корма в модуле, составивший 1,66, что сопоставимо с показателями крупных птицефабрик и комплексов и превосходит аналогичный показатель мелкотоварных предприятий. Процент падежа бройлеров составил 7,14%, что также не превышает допустимых значений.

Дальнейшее повышение эффективности возможно за счет модернизации процесса кормления птиц, основанной на разработке системы управления, предусматривающей применение методов искусственного интеллекта.

Целью данной работы является разработка общей концепции указанной системы, а также формирование номенклатуры необходимых технических устройств для ее реализации.

Методы исследований

Для модернизации системы управления процессом кормления цыплят-бройлеров в технологическом модуле, обеспечивающей максимально полное использование генетического потенциала птиц, снижение производственных издержек, а также контроль за протеканием процесса в реальном времени был применен метод поисковых исследований, позволяющий проанализировать существующие разработки применяемые на сегодняшний день, а также сформулировать концепцию функционирования разрабатываемой системы управления, предусматривающую применение методов искусственного интеллекта.

[6] Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] http://static.government.ru/media/files/Fw1kbNXVJxQ.pdf (дата обращения 8.12.2022 г.)

Также в ходе работы была осуществлена опытно-производственная проверка технологического модуля, предусматривающая постановку на откорм трехсот бройлеров с фиксацией показателя общего расхода корма в сутки и дальнейшего определения среднесуточного потребления корма одним бройлером. В результате проведенных исследований была построена математическая модель потребления бройлерами комбикорма в зависимости от дня откорма позволяющая отслеживать протекание процесса и своевременно его корректировать во время обнаружения отклонений.

Результаты и обсуждение

При организации процесса кормления птиц необходимо учитывать ряд специфических факторов, таких как кросс, половозрастная группа, методика кормления (вволю и нормировано). Подбор оборудования должен осуществляться с учетом обозначенных факторов, а также обеспечивать универсальность применения, то есть подходить как для однодневных цыплят, так и для взрослой птицы. Необходимо обеспечение беспрепятственного доступа к корму, а также предотвращение его потерь.

Анализ применяемого на сегодняшний день оборудования показал, что наибольшей эффективностью обладают системы, в которых корма из общего бункера подаются в отдельные линии, также оборудованные бункерами меньшего объема из которых с помощью спирального транспортера корма, поступают в бункерные кормушки, заполнение которых контролируется датчиками, с помощью которых осуществляется остановка или возобновление подачи корма. Данная система оборудована подвесами и лебедками, обеспечивающими возможность подъема всей линии кормления в зависимости от изменения роста птицы, а также максимально поднятия линий для организации очистки производственного помещения после завершения откормочного цикла.

Еще одним важным аспектом системы кормления является учет поступивших, имеющихся и израсходованных кормов. В данном случае широкое применение нашли системы электронных весов, устанавливаемых на бункеры с весовыми модулями.

Управление данными системами может осуществляться как в автоматическом, так и в ручном режиме. Самые простые системы оснащаются только датчиками объема, установленными на контрольных кормушках, при поступлении сигнала с которых производится включение или выключение привода спирального транспортера. Более сложные системы обеспечивают нормированную раздачу корма по времени, а также ведут учет расхода корма с передачей информации на компьютер оператора [3].

На основе приведённых данных разработано технико-технологическое решение организации процесса кормления цыплят-бройлеров в технологическом модуле, основанное на автоматизации заполнения бункерных кормушек, а также контроле среднесуточного потребления корма на протяжении всего откормочного цикла. Схема данного технико-технологического решения представлена на рисунке 2.

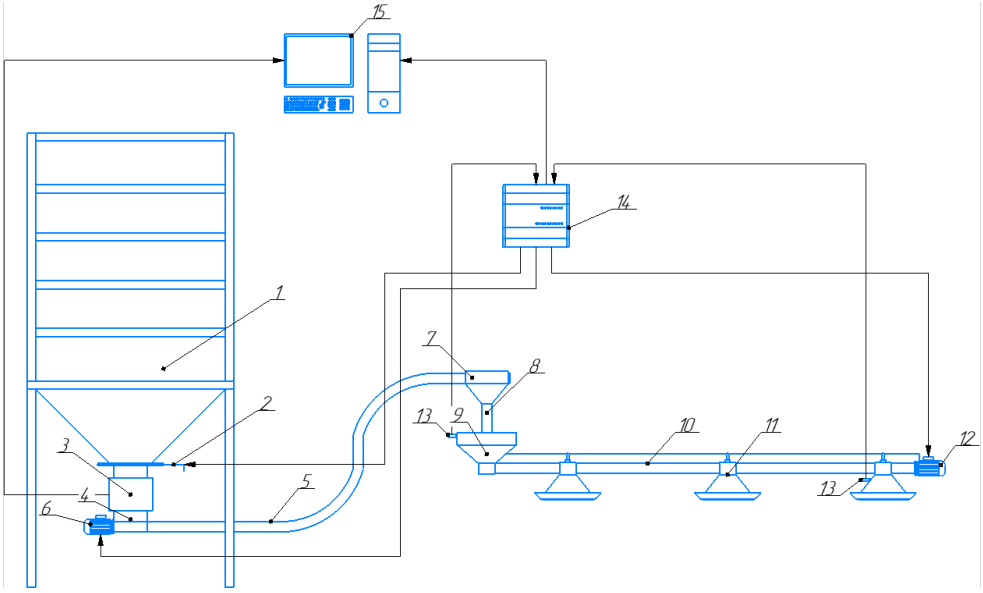


Рис. 2. Система автоматизированной подачи корма при содержании бройлеров в технологическом модуле

Представленная система организации процесса кормления цыплят-бройлеров включает в себя бункер для хранения кормов 1, сообщающийся по средством шибера 2 с расходомером 3, установленном на приемной горловине 4 спирального транспортера 5, с одной стороны которого расположен электродвигатель 6, а с другой выгрузной лоток 7 с патрубком 8 направленным в приемный бункер 9 установленный в начале спирального транспортера 10, на котором через равные промежутки расположены бункерные кормушки 11 и оканчивающимся электродвигателем 12, кроме того система оборудована датчиками объема 13 (фид-сенсеры) коммутированными с программируемым реле 14 подающим информационные сигнал персональному компьютеру 15.

Система функционирует следующим образом:

1) Осуществляется заправка бункера 1 соответствующими сроку откорма комбикормами;

2) С ПК 15 подается команда на программируемое реле 14 о начале процесса откорма;

3) Реле 14 подает команду на открытие шибера 2;

4) Осуществляется подача корма в приемную горловину 4 с единовременным учетом количества корма расходомером 3;

5) Программируемое реле считывает информацию с датчика объема 13 установленного в приемном бункере 9 и при отсутствии корма подает сигнал на электродвигатель 6;

6) Приводится в движение спиральный транспортер 5 до получения реле 14 сигнала с датчика объема 13 о заполнении бункера 9;

7) Программируемое реле 14 считывает информацию с датчика объема 13 установленного на контрольной бункерной кормушке 11 и при отсутствии корма подает сигнал на электродвигатель 12

8) Приводится в движение спиральный транспортер 10 до получения реле 14 сигнала с датчика объема 13 о заполнении контрольной бункерной кормушки 11.

Алгоритм описанных операций является цикличным, его структурная схема приведена на рисунке 3.

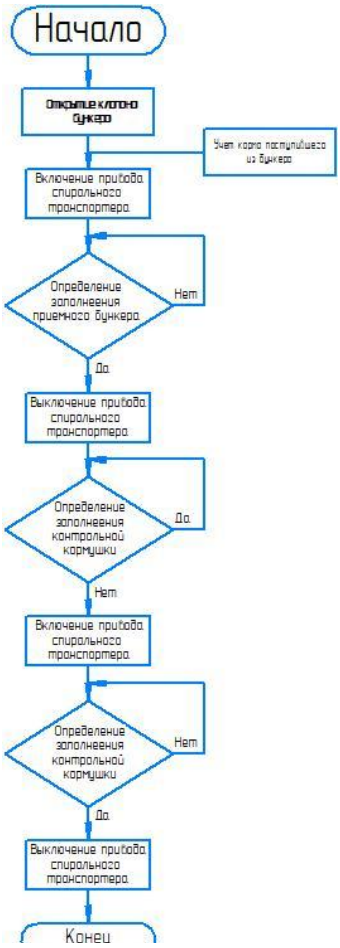


Рис.3. Структурная схема алгоритма автоматизированной системы кормления в технологическом модуле для откорма цыплят бройлеров

Система управления приведенным технико- технологическим решением является локальной и не нуждается в корректировках ввиду того что интенсивной технологией откорма цыплят-бройлеров предусмотрено кормление вволю [4-5].

Но ввиду того, что система управления кормлением является структурной единицей общей системы управления технологическим модулем (рис.4) и процесс кормления в данном случае выполняет функцию сигнализатора физиологического состояния птиц по показателю среднесуточного потребления корма, необходимым является определение контрольных значений при отклонении от которых необходима корректировка процессов непосредственно влияющих на физиологическое состояние цыплят-бройлеров.

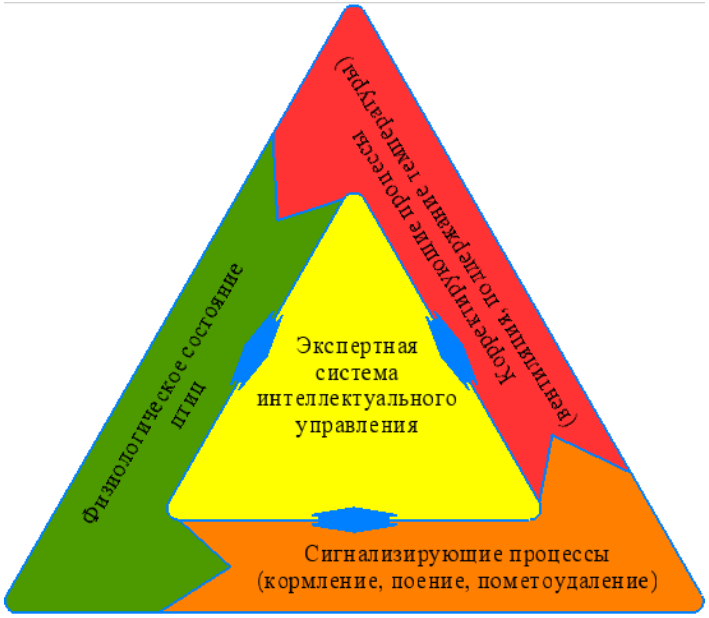


Рис.4. Схема функционирования системы управления технологическим модулем для откорма цыплят-бройлеров

Для определения контрольных значений проведена опытно-производственная проверка технологического модуля в результате которой был получен массив данных на основе анализа которых построен график, при котором были зафиксированы наибольшие привесы и минимальный коэффициент конверсии корма (рис.5).

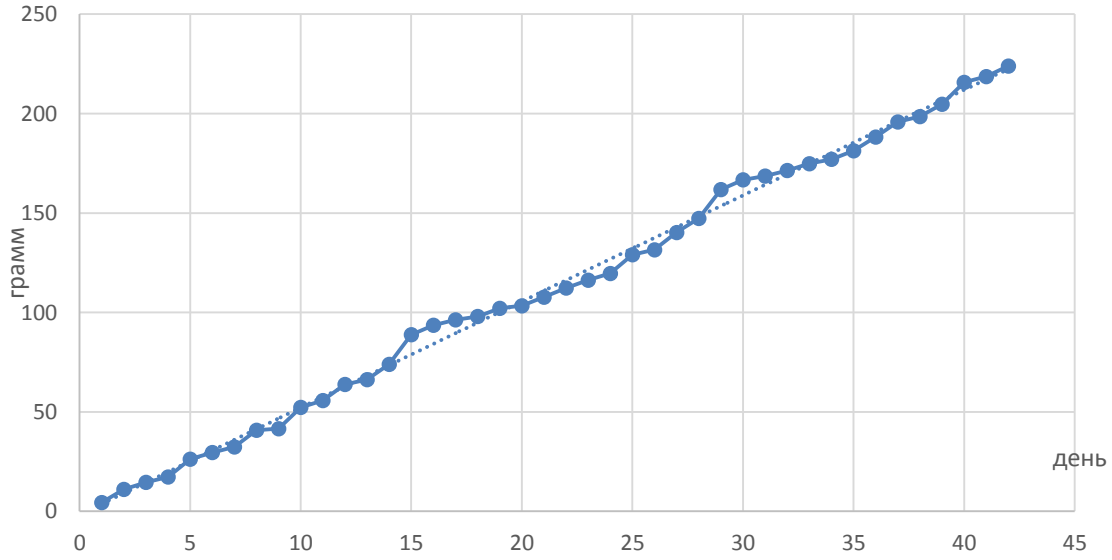


Рис.5. График изменения потребления корма бройлерами, а зависимости от дня откорма

По построенному графику получено полиномиальное уравнение регрессии второй степени с высоким коэффициентом корреляции:

$$y = -0{,}0011x^2 + 5{,}3823x - 1{,}6265$$

$$R^2 = 0{,}9961$$

Полученное выражение позволит системе управления отслеживать адекватность расхода корма, осуществлять корректировку производственного процесса в автоматическом режиме, а также оповещать оператора о возникновении отклонений.

Система управления процессом кормления цыплят-бройлеров в технологическом модуле содержит измерительные, усилительно-преобразовательные и исполнительные элементы.

Подбор данных элементов осуществлялся исходя из следующих критериев: надежность, удобство обслуживания, невысокая стоимость.

На основе анализа рынка и с учетом обозначенных критериев в качестве измерительных и усилительно-преобразовательных элементов предложено применение оборудования компании ОВЕН.

В данном случае роль усилительно-преобразовательного элемента системы выполняет программируемое реле управления типа ПР100 обладающего следующими характеристиками: среда программирования OwenLogic, объем памяти ПЗУ – 128кбайт, объем памяти ОЗУ – 16кбайт, тип питания ~230 В, 12 дискретных входов, 8 дискретных выходов, визуализация процесса на панели оператора, степень защиты корпуса по ГОСТ 14254 – IP20 [6].

В качестве измерительного элемента выступает емкостной бесконтактный датчик KIPPRIBOR с характеристиками: тип питания ~230 В, расстояние дальности действия – до 15 мм, тип выхода – двухпроводной, степень защиты корпуса по ГОСТ 14254 – IP67 [7].

Исполнительными элементами данной системы являются мотор-редукторы типа AFS обладающие характеристиками: тип питания ~230 В, мощность - 0,55 кВт, степень защиты корпуса по ГОСТ 14254 – IP55 [8].

Контроль за среднесуточным расходом кормов осуществляется при помощи массового расходомера сыпучих материалов типа DYNA m-flow с характеристиками: тип питания ~230 В, диапазон измерения от 1 кг/ч до 20 т/ч; степень защиты сенсора по ГОСТ 14254 – IP65, степень защиты передатчика по ГОСТ 14254 – IP30 [9].

Изоляция бункера, во время его заполнения комбикормом, от системы транспортировки корма осуществляется за счет электроуправляемого шибера типа ЗВЭ-200 имеющего следующие характеристики: тип питания ~230 В, мощность - 0,37 кВт, сечение входного и выходного отверстий 300х300 мм [10].

Выводы

Производство птицеводческой продукции сосредоточено на крупнотоварных фермах и комплексах, доля которых составляет более 92%. Мелкотоварные предприятия, такие как крестьянско-фермерские хозяйства и индивидуальные предприниматели, ввиду высоких производственных издержек не могут конкурировать с крупными товаропроизводителями в ценовом сегменте.

Для достижения показателей стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации по среднегодовому приросту продукции сельского хозяйства на 5,5% и доли КФХ и ИП не менее 20% необходима разработка инновационных технико-технологических и планировочных решений, предусматривающих автоматизацию выполнения всех технологических процессов при производстве продукции.

В ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан технологический модуль для откорма цыплят-бройлеров опытно-производственная проверка которого показала, что

данное технико-технологическое решение позволяет достичь коэффициента конверсии корма в 1,66 и процента падежа птицы в 7,14% что сопоставимо с крупными птицефермами и комплексами.

Для дальнейшего повышения эффективности предложена модернизация процесса кормления бройлеров за счет разработки системы управления линии подачи корма.

Разработана принципиальная схема автоматизации процесса раздачи корма в технологическом модуле, а также структурная схема алгоритма функционирования технологического оборудования.

На основе экспериментальных исследований получено уравнение регрессии, позволяющие системе управления отслеживать адекватность расхода корма и осуществлять корректировку производственного процесса.

Произведён подбор измерительных, усилительно-преобразовательных и исполнительных элементов системы управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200022980 (дата обращения 08.12.2022 г.)

2. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2021 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс] Режим доступа: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/60d/60d8f2347d3eb724ab9b57c61a9ac269.pdf?ysclid=laqd3vhbh844521715 (дата обращения 08.12.2022 г.)

3. Plaksin I. E., Trifanov A. V., Plaksin S. I. Study results of the air velocity inside the technological module for broiler chickens fattening. *Engineering for Rural Development*, 2019. Vol. 18, pp. 355-361. DOI 10.22616/ERDev2019.18. N170.

4. Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] Режим доступа: http://static.government.ru/media/files/Fw1kbNXVJxQ.pdf (дата обращения 08.12.2022 г.)

5. Комбикормовые заводы с весовым дозированием (научно-производственная фирма Севекс). [Электронный ресурс] Режим доступа: http://seveks.ru/kombikorm.html (дата обращения 08.12.2022 г.)

6. Терехов В.А. Локальные системы управления. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 148 с.

7. Руководство по выращиванию. Бройлер. (Hubbard) [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.winmixsoft.com/files/info/HUBBARD_rus.pdf_(дата обращения 08.12.2022 г.)

8. Программируемое реле ПР100. Руководство по эксплуатации. (ООО «Производственное объединение ОВЕН») [Электронный ресурс] Режим доступа: https://owen-prom.ru/files/re_pr100_2869.pdf?ysclid=lbewx8jzr782478293 (дата обращения 08.12.2022 г.)

9. Датчики бесконтактные емкостные. Руководство по эксплуатации (KIPPRIBOR). [Электронный ресурс] Режим доступа: https://owen.ru/uploads/249/re-

datchiki_emkostnye_kp01-10.0001.02 03.2020.pdf?ysclid=lbexa24t65432619769 (дата обращения 08.12.2022 г.)

10. Мотор-редуктор Stallkamp AFS для раздачи корма шнеком (TOPIXpro). [Электронный ресурс] Режим доступа: https://topixpro.ru/catalog/kormlenie/privoda_i_reduktory/motor_reduktor_stallkamp_afs_dlya_razdachi_korma_shnekom/?ysclid=lbexlvrkhq248631667 (дата обращения 08.12.2022 г.)

11. Массовый расходомер DYNA M-flow (ООО Торговый Дом АКИП) [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.explosimetr.ru/!trash/bulk_materials_sensors/dynamas1/?ysclid=lbezgf3ge783099577 (дата обращения 08.12.2022 г.)

12. Задвижки винтовые с электроприводом (АГРО ПРОМ РЕСУРС) [Электронный ресурс] Режим доступа: https://altay-apr.ru/catalog/zadvizhki/zadvizhki-vintovye-s-elektroprivodom-zve?ysclid=lbezq7zx7h913589374 (дата обращения 08.12.2022 г.)

REFERENCES

1. Elektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov [Electronic fund of legal and normative-technical documents] Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200022980 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

2. Natsional'nyi doklad o khode i rezul'tatakh realizatsii v 2021 godu Gosudarstvennoi programmy razvitiya sel'skogo khozyaistva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaistvennoi produktsii, syr'ya i prodovol'stviya [National report on the progress and results of the implementation in 2021 of the State program of agricultural development and regulation of markets of agricultural products, raw materials and food] Available at: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/60d/60d8f2347d3eb724ab9b57c61a9ac269.pdf?ysclid=laqd3vhbh844521715 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

3. Plaksin I. E., Trifanov A. V., Plaksin S. I. Study results of the air velocity inside the technological module for broiler chickens fattening. *Engineering for Rural Development*, 2019. Vol. 18: 355-361 (In English) DOI 10.22616/ERDev2019.18. N170.

4. Strategiya ustoichivogo razvitiya sel'skikh territorii Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda [Strategy for sustainable development of rural areas of the Russian Federation for the period up to 2030] Available at: http://static.government.ru/media/files/Fw1kbNXVJxQ.pdf (accessed 08.12.2022) (In Russian)

5. Kombikormovye zavody s vesovym dozirovaniem (nauchno-proizvodstvennaya firma Seveks). [Feed mills with weight dosing (Research and Production Company Sevex)] Available at: http://seveks.ru/kombikorm.html (accessed 08.12.2022) (In Russian)

6. Terekhov V.A. Lokal'nye sistemy upravleniya. Ucheb. Posobie [Local control systems. Tutorial]. Saint Petersburg: SPbGETU “LETI” Publ., 2011: 148 p. (In Russian)

7. Rukovodstvo po vyrashchivaniyu. Broiler. (Hubbard) [Rearing guide. Broiler] Available at: https://www.winmixsoft.com/files/info/HUBBARD_rus.pdf (accessed 08.12.2022) (In Russian)

8. Programmiruemoe rele PR100. Rukovodstvo po ekspluatatsii. (OOO «Proizvodstvennoe ob"edinenie OVEN») [Programmable relay PR100. User Manual] Available at: https://owen-prom.ru/files/re_pr100_2869.pdf?ysclid=lbewx8jzr782478293 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

9. Datchiki beskontaktnye emkostnye. Rukovodstvo po ekspluatatsii (KIPPRIBOR) [Non-contact capacitive sensors. User Manual] Available at: https://owen.ru/uploads/249/re-

datchiki_emkostnye_kp01-10.0001.02 03.2020.pdf?ysclid=lbexa24t65432619769 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

10. Motor-reduktor Stallkamp AFS dlya razdachi korma shnekom (TOPIXpro). [Motor-reducer Stallkamp AFS for feed distribution by auger] Available at: https://topixpro.ru/catalog/kormlenie/privoda_i_reduktory/motor_reduktor_stallkamp_afs_dlya_razdachi_korma_shnekom/?ysclid=lbexlvrkhq248631667 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

11. Massovyi raskhodomer DYNA M-flow (OOO Torgovyi Dom AKIP) [Mass flow meter] Available at: http://www.explosimetr.ru/!trash/bulk_materials_sensors/dynamas1/?ysclid=lbezgf3ge783099577 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

12. Zadvizhki vintovye s elektroprivodom (AGRO PROM RESURS) [Screw gate valves with electric drive] Available at: https://altay-apr.ru/catalog/zadvizhki/zadvizhki-vintovye-s-elektroprivodom-zve?ysclid=lbezq7zx7h913589374 (accessed 08.12.2022) (In Russian)

УДК 631.22 DOI 10.24412/2713-2641-2022-4113-139-146

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МОДУЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ КРОЛИКОВ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

А.В. Трифанов, канд. техн. наук
И.Е. Плаксин, канд. техн. наук
В.И. Базыкин
А.М. Соколов

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования – определить концентрацию аммиака и углекислого газа в репродукторной секции технологического модуля, разработанноого в ИАЭП-филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ для выращивания кроликов в летний период Температуру, влажность и концентрацию аммиака и углекислого газа внутри технологического модуля замеряли переносным измерительным комплексом ПИК-4. Температуру и влажность воздуха снаружи замеряли расположенной на территории фермы беспроводной профессиональной сельскохозяйственной метеостанцией Davis VP2. Измерения проводили в июне-августе 2022 г. Температура снаружи технологического модуля колебалась от 8,4 до 28 °С, а внутри технологического модуля – от 14 до 32,2 °С. Влажность воздуха снаружи технологического модуля колебалась от 42 до 93,6%, а внутри технологического модуля – от 38 до 88%. Концентрация аммиака внутри технологического модуля составляла от 0 до 8,2 мг/м^3. Концентрация углекислого газа внутри технологического модуля составляла от 400 до 1258 мг/м^3. Полученные значения параметров микроклимата и концентрации газов не превышали допустимых значений для кролиководческих ферм. Данные по концентрации газов могут

быть в дальнейшем использованы для расчета коэффициентов выбросов климатических активных газов для технологий содержания кроликов.

Ключевые слова: кролиководство, животноводческая ферма, аммиак, углекислый газ, модуль, сельское хозяйство

Для цитирования: Трифанов А.В., Плаксин И.Е., Базыкин В.И., Соколов А.М. Определение концентрации аммиака и углекислого газа в технологическом модуле выращивания кроликов в летний период // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. № 4 (113). С. 139-146

DETERMINATION OF AMMONIA AND CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN THE TECHNOLOGICAL MODULE FOR SUMMER RABBITS REARING

A.V. Trifanov Cand. Sc. (Engineering), I.E. Plaksin Cand. Sc. (Engineering), V.I. Bazykin, A.M. Sokolov

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The study aimed to determine the concentration of ammonia and carbon dioxide in the reproductive section of the technological module designed in IEEP-branch of FSAC VIM for rabbits rearing in summer. The air temperature and humidity and concentration of ammonia and carbon dioxide inside the technological module were measured with PIK-4 portable measuring complex. The air temperature and humidity outside the module was measured with a Davis VP2 wireless professional agricultural weather station located on the farm premises. The measurements took place in June-August 2022. The temperature outside the technological module ranged from 8.4 to 28 °C, and the temperature inside the technological module – from 14 to 32.2 °C. The air humidity outside the technological module ranged from 42 to 93.6% and inside the process module – from 38 to 88%. The concentration of ammonia inside the tewchnological module ranged from 0 to 8.2 mg/m^3. The concentration of carbon dioxide inside the technological module was from 400 to 1258 mg/m^3. The obtained values of microclimate parameters and gas concentrations did not exceed the permissible values for rabbit farms. Data on gas concentrations can be further used to calculate the emission factors of climatic active gases for rabbit housing technologies.

Key words: rabbit rearing, livestock farm, ammonia, carbon dioxide, module, agriculture

For citation: Trifanov A.V., Plaksin I.E., Bazykin V.I., Sokolov A.M. Determination of ammonia and carbon dioxide concentration in the technological module for summer rabbits rearing. *AgroEkoInzheneriya*. 2022. No. 4(113): 139 -146 (In Russian)

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха, связанное с выбросами климатических газов животноводческих предприятий, вызывает всё больший интерес. Международные обязательства обязывают страны предоставлять ежегодные доклады о национальных выбросах, однако отсутствует информация об оценке выбросов от пушных зверей и кроликов [1-3]. Существует несколько методологий измерения выбросов газов, от замеров в экспериментальных камерах до замеров на крупных промышленных предприятиях [4-7].

Для расчета коэффициента выброса метана при внутренней ферментации у кроликов и пушных зверей использован подход, предложенный в Руководящих принципах МГЭИК 2006 года, для животных по которым отсутствуют разработанные коэффициенты выброса. При этом используется соотношение средней живой массы этого вида животных и вида, для которого разработан соответствующий коэффициент выброса метана при внутренней ферментации, при условии общего сходства пищеварительных систем у данных видов животных. Коэффициент выброса для пушных зверей рассчитывался по данным свиней, а для кроликов по данным ослов [8].

В ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработан проект технологического модуля для содержания и выращивания кроликов [9, 10]. В его репродукторной секции на 9 кроликоматок и проводили замеры концентраций углекислого газа и аммиака в самый жаркий период 2022 года.

Цель исследования – определить концентрации аммиака и углекислого газа в репродукторной секции технологического модуля выращивания кроликов в летний период.

Материалы и методы

Объект исследований – репродукторная секция технологического модуля содержания 9 лактирующих самок с приплодом (от 3 до 9 крольчат).

Технологический модуль для разведения и откорма кроликов выполнен в виде блок-контейнера габаритными размерами 6×2,4×2,5 м (рис. 1), разделён на две части (секции). В первой части расположены клетки для кроликоматок 5 и новорожденных кроликов, каждый из отсеков данной клетки оборудован бункерными кормушками 8 и ниппельными поилками 9, для притока свежего воздуха предусмотрены приточные вентиляционные окна 2. Удаление отработанного воздуха осуществляется за счет вытяжных вентиляторов 1. Во второй части модуля расположены клетки для откормочного молодняка 6, каждый из отсеков которой также оборудован бункерными кормушками и ниппельными поилками. Приток свежего и вытяжка отработанного воздуха осуществляется аналогично первой части модуля за счет приточных окон и вытяжных вентиляторов.

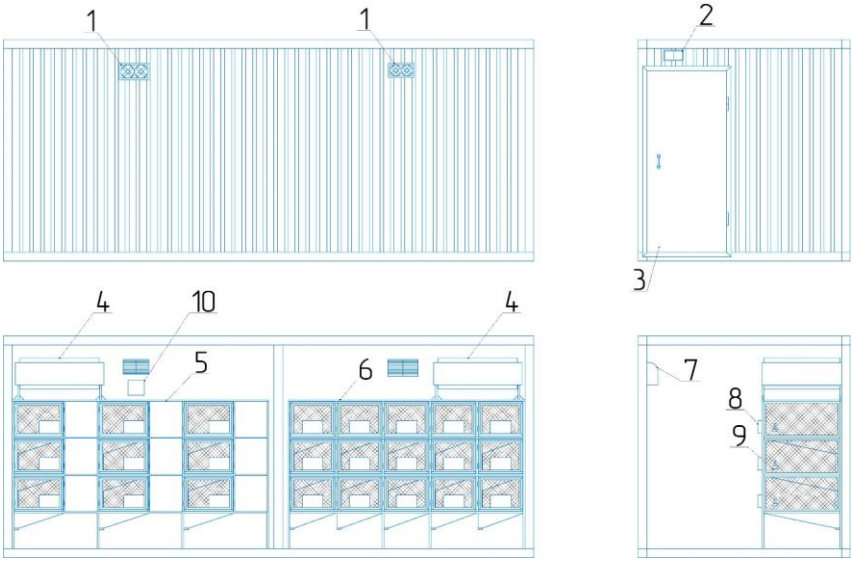


Рис. 1. Технологический модуль для содержания кроликов:
1-вытяжные вентиляторы; 2-приточные окна; 3-дверь; 4-водонакопительные баки; 5-клетка для кроликоматок; 6- клетка для откормочного молодняка; 7-тепловентилятор; 8-бункерные кормушки; 9-ниппельные поилки, 10 - переносной измерительный комплекс ПИК-4

Исследования проводились в соответствии с утвержденной программой и методикой выполнения экспериментальной научно-исследовательской работы «Опытно-производственная проверка работы технологического модуля для содержания кроликов».

Факторы, подлежащие исследованию: температура и влажность внутри и снаружи технологического модуля, концентрация аммиака и углекислого газа.

Температура, влажность и концентрация аммиака и углекислого газа внутри технологического модуля замерялись переносным измерительным комплексом ПИК-4. Температура и влажность снаружи замерялись расположенной на территории фермы беспроводной профессиональной сельскохозяйственной метеостанцией Davis VP2. Все показания заносились в журнал наблюдений.

Результаты исследований обрабатывались с использованием программных средств MS Excel.

Результаты и обсуждение

Согласно норм технологического проектирования звероводческих и кролиководческих ферм НТП-АПК 1.10.06.001-00 предельная концентрация аммиака в помещениях для содержания кроликов не должна превышать 10 мг/м^3, сероводорода - 10 мг/м^3, углекислого газа - 4500 мг/м^3. Температура в зданиях с регулируемым микроклиматом расчетная 10 ^{0}С, в теплый период года должна быть на более чем на 5 ^{0}С выше наружной летней температуры, но не более 28 ^{0}С, а относительная влажность воздуха от 40 до 75%.

Исследования проводили в теплый период 2022 года. Температура снаружи технологического модуля в июне колебалась от 12 до 28 ^{0}С, а внутри технологического модуля от 15 до 28 ^{0}С (рис. 2).

Рис. 2. Температура воздуха внутри и снаружи технологического модуля в июне 2022 г.

В июле 2022 года температура снаружи технологического модуля колебалась от 16,1 до 27,7 ^{0}С, а внутри технологического модуля от 15 до 32,2 ^{0}С. В августе 2022 года температура снаружи технологического модуля колебалась от 8,4 до 25,7 ^{0}С, а внутри технологического модуля от 14 до 30,1 ^{0}С.

Влажность воздуха снаружи технологического модуля в июне 2022 г. колебалась от 42 до 92%, а внутри технологического модуля от 48 до 88% (рис. 3).

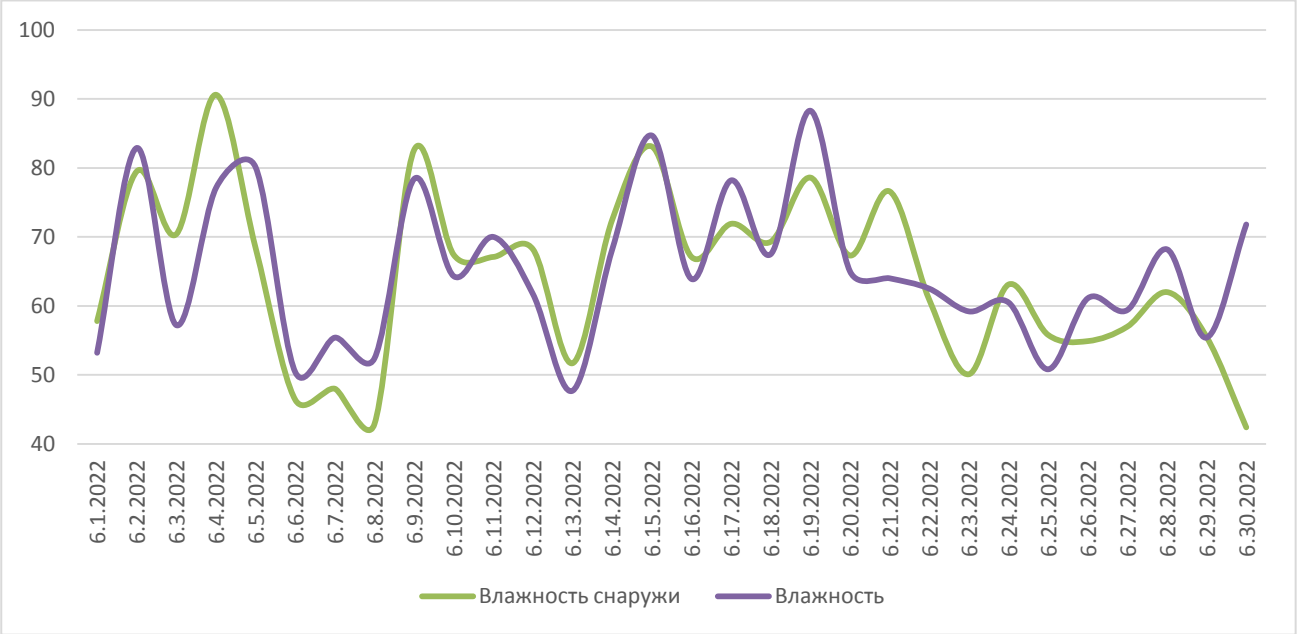


Рис. 3. Влажность воздуха внутри и снаружи технологического модуля в июне 2022 г.

В июле 2022 года влажность воздуха снаружи технологического модуля колебалась от 49 до 83,7%, а внутри технологического модуля от 38 до 84%. В августе соответственно от 56 до 93,6% и от 45 до 85%.

Концентрация аммиака внутри технологического модуля в июне 2022 г. составляла от 0 до 8,2 мг/м^3 (рис. 4).

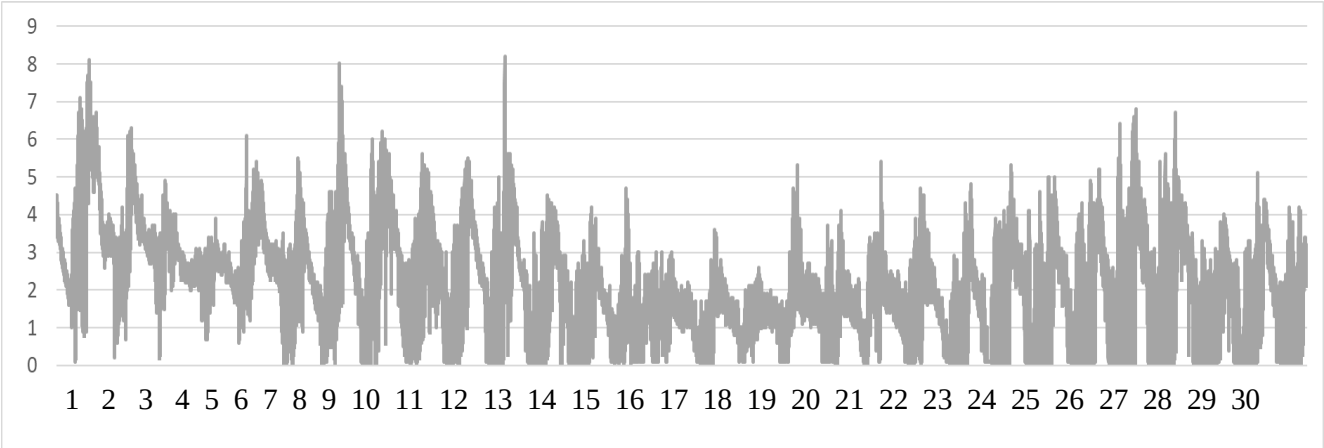


Рис. 4. Концентрация аммиака внутри технологического модуля в июне 2022 г.

В июле концентрация аммиака внутри технологического модуля составляла от 0 до 5,1 мг/м^3, августе от 0 до 4,5 мг/м^3. Все показатели соответствовали допустимым нормам НТП-АПК 1.10.06.001-00 значениям.

Концентрация углекислого газа внутри технологического модуля в июне 2022 г. составляла от 400 до 1185 мг/м^3 (рис. 5).

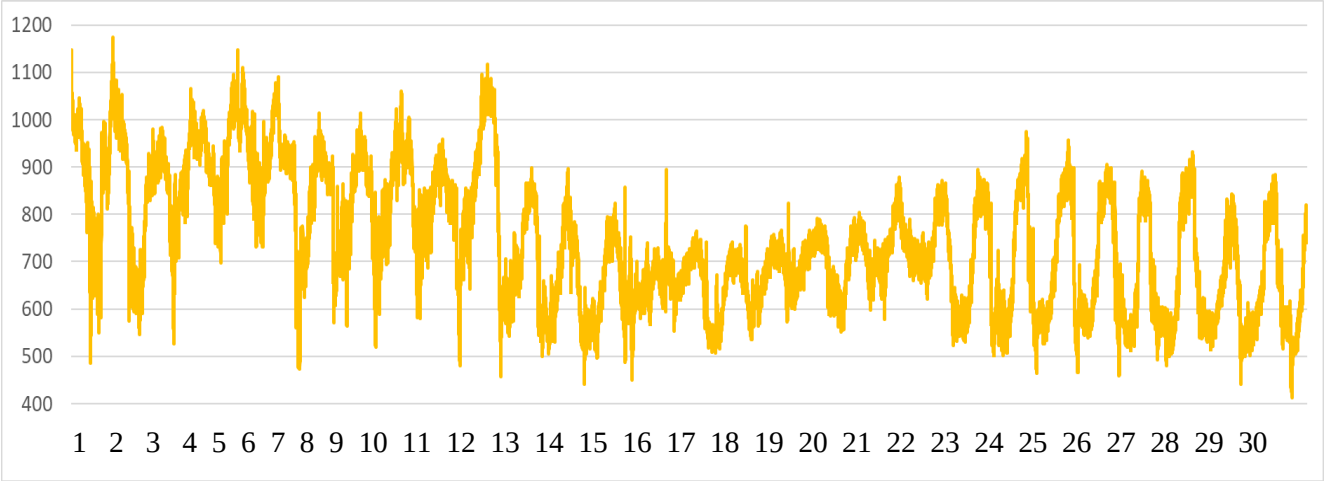


Рис. 5 Концентрация углекислого газа внутри технологического модуля в июне 2022 г.

В июле концентрация углекислого газа внутри технологического модуля составляла от 446 до 1103 мг/м^3, августе от 410 до 1258 мг/м^3. Все показатели соответствовали допустимым нормам НТП-АПК 1.10.06.001-00 значениям.

Выводы

Система вентиляции в репродукторной секции технологического модуля выращивания кроликов обеспечивала нормативные показатели микроклимата.

Температура снаружи технологического модуля в июне - августе 2022 года колебалась от 8,4 до 28 ^{0}С, а внутри технологического модуля от 14 до 32,2 ^{0}С. Влажность воздуха снаружи технологического модуля в июне - августе 2022 г. колебалась от 42 до 93,6%, а внутри технологического модуля от 38 до 88%. Концентрация аммиака внутри технологического модуля в июне - августе 2022 г. составляла от 0 до 8,2 мг/м^3. Концентрация углекислого газа внутри технологического модуля в июне - августе 2022 г. составляла от 400 до 1258 мг/м^3. Полученные значения параметров микроклимата и концентрации газов не превышали допустимых значений для кролиководческих ферм.

Полученные данные по концентрации газов могут быть использованы для расчета коэффициентов выбросов климатических активных газов для технологий содержания кроликов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Calvet S., Cambra-López M., Estellés F., Torres A.G. Characterization of the indoor environment and gas emissions in rabbit farms. *World Rabbit Science*, 2011. Vol. 19 (1). DOI: 10.4995/wrs.2011.802.

2. Estellés F., Rodríguez-Latorre A.R., Calvet S., Villagra A., Torres A. G. Daily carbon dioxide emission and activity of rabbits during the fattening period. *Biosystems Engineering*, 2010. Vol. 106, pp. 338-343. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2010.02.011.

3. Estellés F., Calvet S., Blumetto O., Rodríguez-Latorre A.R., Torres A. G. Technical Note: A flux chamber for measuring gas emissions from rabbits. *World Rabbit Science*. 2010. Vol.17. DOI: 10.4995/wrs.2009.657.

4. Olivas I., Rodriguez-Latorre A., Estellés F., Calvet S., Villagra A.. Short communication: Assessment of activity patterns of growing rabbits in a flux-controlled chamber. World Rabbit Science. 2013. Vol. 21. DOI: 10.4995/wrs.2013.1187.

5. Estellés F. Development and evaluation of methods for the measurement of airborne emissions form animal houses. Thesis. PhD. Valencia: Universitat Politècnica de València | UPV, Institute for Animal Science and Technology (ICTA). 2014

6. Calvet S., Estellés F., Cambra-López M., Torres A.G. Estimation of emission uncertainty from a broiler building using numerical methods. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2010*, ASABE 2010. Vol. 4. DOI: 10.13031/2013.29772.

7. Zhu Jun, Jacobson L., Schmidt D., Nicolai R. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities. *Applied Engineering in Agriculture*. 2000. Vol.16, pp.153-158. DOI: 10.13031/2013.5067.

8. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов на регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2020 гг. Часть 1. Москва: Росгидромет, 2022. 468 с.

9. Плаксин, И. Е., А. В. Трифанов. Определение необходимого воздухообмена каждой секции технологического модуля для содержания и выращивания кроликов // Аграрный вестник Верхневолжья. 2020. № 4(33). С. 78-84. DOI 10.35523/2307-5872-2020-33-4-7884.

10. Плаксин И. Е., Трифанов А. В. Модульная кроликоферма. Патент на изобретение РФ № 274769, 2020.

REFERENCES

1. Calvet S., Cambra-López M., Estellés F., Torres A.G. Characterization of the indoor environment and gas emissions in rabbit farms. *World Rabbit Science*, 2011. Vol. 19 (1). DOI: 10.4995/wrs.2011.802.

2. Estellés F., Rodríguez-Latorre A.R., Calvet S., Villagra A., Torres A. G. Daily carbon dioxide emission and activity of rabbits during the fattening period. *Biosystems Engineering*, 2010. Vol. 106, pp. 338-343. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2010.02.011.

3. Estellés F., Calvet S., Blumetto O., Rodríguez-Latorre A.R., Torres A. G. Technical Note: A flux chamber for measuring gas emissions from rabbits. *World Rabbit Science*. 2010. Vol.17. DOI: 10.4995/wrs.2009.657.

4. Olivas I., Rodriguez-Latorre A., Estellés F., Calvet S., Villagra A.. Short communication: Assessment of activity patterns of growing rabbits in a flux-controlled chamber. World Rabbit Science. 2013. Vol. 21. DOI: 10.4995/wrs.2013.1187.

5. Estellés F. Development and evaluation of methods for the measurement of airborne emissions form animal houses. Thesis. PhD. Valencia: Universitat Politècnica de València | UPV, Institute for Animal Science and Technology (ICTA). 2014

6. Calvet S., Estellés F., Cambra-López M., Torres A.G. Estimation of emission uncertainty from a broiler building using numerical methods. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2010*, ASABE 2010. Vol. 4. DOI: 10.13031/2013.29772.

7. Zhu Jun, Jacobson L., Schmidt D., Nicolai R. Daily variations in odor and gas emissions from animal facilities. *Applied Engineering in Agriculture*. 2000. Vol.16, pp.153-158. DOI: 10.13031/2013.5067.

8. Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtsii poglotitelyami parnikovykh gazov na reguliruemykh Monreal'skim protokolom za 1990-2020 gg. Chast' 1. [National report on the inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases under the Montreal Protocol for 1990-2020. Part 1.] Moscow: Rosgidromet, 2022. 468 p. (In Russian)

9. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Opredelenie neobkhodimogo vozdukhoobmena kazhdoi sektsii tekhnologicheskogo modulya dlya soderzhaniya i vyrashchivaniya krolikov [Determining the required air exchange in each section of the technological module for housing and growing of rabbits]. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*. 2020. No. 4(33): 78-84 (In Russian) DOI 10.35523/2307-5872-2020-33-4-78-84.
10. Plaksin I. E., Trifanov A. V. Modul'naya krolikoferma [Modular rabbit farm]. Patent on invention RU No. 274769, 2020 (In Russian)

Для заметок

Для заметок