1.2022

ISSN 0044-3913

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

ГЕОСКАН 201
АГРОГЕОДЕЗИЯ

- Картографирование с/х полей
- Точное земледелие
- Инспекция перед покупкой земли
- Получение информации о рельефе

GEOSCAN

+7 812 363-33-87
info@geoscan.aero
www.geoscan.aero

1.2022 ЯНВАРЬ

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал входит в базу данных российских научных журналов *Russian Science Citation Index* на платформе *Web of Science*

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЛИ И СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ / USE OF SOIL AND AGRICULTURE SYSTEMS

Г. П. Гамзиков. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы 3
G. P. Gamzikov. Precision farming in Siberia: Realities, challenges and prospects

А. А. Шпедт, А. А. Козлова, И. А. Белозерцева, Н. И. Гранина, О. Г. Лопатовская, Н. Д. Киселева, С. Л. Куклина, Н. А. Мартынова, Д. Н. Лопатина. Почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия 9
A. A. Spedt, A. A. Kozlova, I. A. Belozertseva, N. I. Granina, O. G. Lopatovskaya, N. D. Kiseleva, S. L. Kuklina, N. A. Martynova, D. N. Lopatina. Soil and ecological assessment of agricultural lands in the Krasnoyarsk Territory, Irkutsk region, and the Republic of Buryatia

Л. М. Козлова, А. К. Свечников. Биоэнергетическая эффективность фитоагроценозов при возделывании многолетних бобово-злаковых трав 14
L. M. Kozlova, A. K. Svechnikov. Bioenergetic efficiency of agricultural phytocenosis in the cultivation of perennial legumes and grasses

В. Ю. Скороходов, А. А. Зоров, Н. А. Максютов, Д. В. Митрофанов, Ю. В. Кафтан, Н. А. Зенкова. Возделывание яровой твёрдой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения Оренбургского Предуралья 19
V. Yu. Skorokhodov, A. A. Zorov, N. A. Maksyutov, D. V. Mitrofanov, Yu. V. Kaftan, N. A. Zenkova. Cultivation of spring durum wheat under conditions of unstable moistening of the Orenburg region

ПОЛЕВОДСТВО И ЛУГОВОДСТВО / FIELD CROPS

Вит. В. Чагин, В. В. Чагин. Влияние удобрений на продуктивность, качество и сохранность картофеля в период хранения в степной зоне Хакасии 23
Vit. V. Chagin, V. V. Chagin. Influence of fertilizers on productivity, quality and safety of potato during storage in the steppe zone of Khakassia

А. А. Гусейнов. Срок распашки пласта люцерны под озимую пшеницу в Западном Прикаспии 26
A. A. Guseynov. The term of ploughing the alfalfa crops before winter wheat growing in the Western Caspian region

Основан в 1939 г.

УЧРЕДИТЕЛИ:
Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии

ООО «Редакция журнала «Земледелие»

ИЗДАТЕЛЬ:
ООО «Редакция журнала «Земледелие»

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:
Л. В. Будажапов, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук
А. Н. Власенко, академик РАН и НА Монголии, доктор сельскохозяйственных наук
Н. Г. Власенко, академик РАН, доктор биологических наук
А. А. Завалин, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук
А. Л. Иванов, академик РАН, доктор биологических наук
В. А. Иванов, почетный член редколлегии, главный редактор журнала «Земледелие» в 1978-2001 гг.
А. Н. Каштанов, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук
В. И. Кирюшин, академик РАН, доктор биологических наук
В. В. Кулинцев, доктор сельскохозяйственных наук
В. В. Лапа, академик НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, Республика Беларусь
М. А. Мазиров, доктор биологических наук
М. Михловски, доктор сельскохозяйственных наук, Чешская Республика
Ю. В. Плугатарь, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук
В. А. Романенков, доктор биологических наук
П. А. Чекмарев, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук
И. Ф. Храмцов, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Р. Ф. Байбеков
ВЕРСТКА
Н. Ю. Луценко

КОНТАКТЫ:
Тел./факс: +7 916 241 63 43

E-mail: jurzemledelie@yandex.ru
www.jurzemledelie.ru

АДРЕС ДЛЯ ОТПРАВКИ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:
101000, г. Москва, Моспочтамт, а/я 629

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещения и средств массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № 77-9212 от 27 июня 2001 г.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами в ООО «МЕДИА-ГРАНД» 152900, Ярославская область, г. Рыбинск, ул. Орджоникидзе, д. 57

Подписано в печать 16.01.2022
Формат 60×90 1/8.
Печать офсетная.
Печ.л. 6,0+0,5 вкл.
Заказ

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель. Перепечатка и любое воспроизведение материалов, опубликованных в журнале «Земледелие», возможны только с письменного разрешения редакции.

© “Земледелие”. 2022.

Журнал «Земледелие» включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов (Перечень ВАК), рекомендованных для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (по агрономии).

Информация об опубликованных статьях поступает в систему Российского индекса научного цитирования.

Аннотации статей, ключевые слова, информация об авторах на русском и английском языках, а также полнотекстовые версии статей находятся в свободном доступе в Интернете на сайте www.jurzemledelie.ru

А. Э. Панфилов, П. Ю. Овчинников. Региональные изменения климата и технология выращивания кукурузы на зерно на Южном Урале 30

A. E. Panfilov, P. Y. Ovchinnikov. Regional climate changes and the technology of corn cultivation for grain in the Southern Urals

СОРТА И СЕМЕНА / **GRADES AND SEEDS**

А. Н. Носков, О. Б. Батакова, В. А. Корелина. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Северного региона РФ 35

A. N. Noskov, O. B. Batakova, V. A. Korelina. Comparative evaluation of hybrid forms of spring barley by yield and adaptive properties under the conditions of the Northern region of the Russian Federation

П. Н. Николаев, О. А. Юсова, А. Е. Кремпа. Новые перспективные линии ячменя пивоваренного направления селекции Омского аграрного научного центра 39

P. N. Nikolaev, O. A. Yusova, A.E. Krempa. New promising lines of brewing barley bred at Omsk Agricultural Scientific Center

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ / **PLANT PROTECTION**

А. В. Бобровский, Н. С. Козулина, А. В. Василенко, А. А. Крючков. Влияние баковых смесей гербицидов на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность ячменя сорта Ача 44

A. V. Bobrovskij, N. S. Kozulina, A. V. Vasilenko, A. A. Krjuchkov. Influence of tank mixtures of herbicides on the phytosanitary condition and productivity of barley cv. Acha

Уважаемые читатели!

В 2022 г. наш журнал будет, как и прежде, выходить 8 раз в год, в первый и второй месяцы каждого квартала. Наш подписной индекс в каталоге Урал-Пресс 70329, в каталоге Почта России – ПП852. Возможна подписка через редакцию как на бумажную, так и электронную версию журнала.

Напоминаем авторам, что формирование планов и подготовка номеров начинается заблаговременно. Редакция заключает договоры с научными организациями и учебными учреждениями на издательские услуги по публикации статей. Заявки принимаются по электронной почте jurzemledelie@yandex.ru

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9
УДК 631.58 (571.1/5)

Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы

Г. П. ГАМЗИКОВ, академик РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник (e-mail: gamolgen@rambler.ru)
Новосибирский государственный аграрный университет, ул. Добролюбова, 160, Новосибирск, 630039, Российская Федерация

Проанализировано современное состояние сибирского земледелия, свидетельствующее о его значительных ресурсных возможностях, слабо реализуемых сегодня. Низкий уровень продуктивности земледелия в регионе обусловлен слабыми социальным и финансовым уровнями товаропроизводителей, около половины которых ведут экстенсивное земледелие с использованием только потенциала плодородия парового поля, без удобрений и средств защиты растений. Средняя урожайность зерновых при 2...3-польном чередовании (пар-зерновые) редко превышает 1 т/га. Между тем, при тех же погодных условиях хозяйства, ведущие земледелие на интенсивном уровне собирают по 2...3 т/га зерна. Следовательно, пришло время коренным образом менять отношение к земледелию. Стабильность выживания товаропроизводителя и достижения им высокой продуктивности полевых культур в условиях региона полностью определяет уровень оптимизации социально-экономических и организационно-хозяйственных условий, регулируемых властями, и зависит от его квалификации и профессиональной прозорливости. Для решения этих проблем перспективно точное земледелие. Базовые подходы и методология приёмов точного земледелия могут быть частично или полностью реализованы в процессе поэтапного освоения интенсивных и высокоинтенсивных технологий возделывания полевых культур на основе адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Комплексная реализация прецизионных и агротехнологических систем возможна только при государственной поддержке необходимых организационных, финансовых и кадровых изменений, что позволит эффективно и успешно решать проблемы продовольственной безопасности на новом техническом уровне. Сегодня в сибирских условиях полное освоение приёмов точного земледелия посильно только финансово крепким хозяйствам, освоившим интенсивные технологии. Использование высокоинтенсивных сортов, минеральных удобрений (не менее 100 кг д.в/га), средств защиты растений и современной техники позволяет им устойчиво собирать урожаи зерновых 3...5 т/га и выше. Постепенно хозяйства любой формы собственности, освоившие высокоинтенсивные агротехнологии, могут также подключаться к поэтапному переходу на приёмы точного земледелия.

Ключевые слова: *природные условия, состояние земледелия, интенсификация, комплексность, цифровизация, точное земледелие, сохранение плодородия, агротехнологии, полевые культуры, высокая продуктивность.*

Для цитирования: *Гамзиков Г. П. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы // Земледелие. 2022. №1. С. 3–9. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9.*

Предвестниками цифровизации и точного земледелия в отечественном АПК можно считать результаты активно проводившихся в 60…80-е гг. прошлого столетия исследований по программированию урожаев сельскохозяйственных культур. Принципы, разработанные под руководством академика ВАСХНИЛ И. С. Шатилова [1, 2], позволили сформулировать основные теоретические положения выращивания запланированных урожаев с использованием автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) земледелия. Учёные предвидели, что предлагаемые системы алгоритмов оптимального управления биологическими процессами полевых культур и важнейшими технологическими приёмами программирования урожаев найдут практическую реализацию только в совокупности с комплексом автоматизированных технических систем, функционирующих в полевых условиях. Сегодня такие системы разрабатывают и используют при решении проблем точного земледелия [3, 4, 5].

О точном земледелии. Мировой и отечественный опыт цифровизации сельскохозяйственного производства и освоения методологии приёмов точного земледелия свидетельствует о возможностях его широкого распространения. При этом несомненно, что достижение стабильно высоких урожаев качественной продукции возможно только при устойчивой экономике, высоком уровне качества и производительности труда, обеспеченности высокоурожайными сортами и качественными семенами всех полевых культур, техникой и полевыми орудиями, удобрениями, средствами защиты растений и ГСМ. Кроме того, необходимо повышение уровня отраслевой наукоёмкости и культуры земледелия, а также кадровой привлекательности сельскохозяйственного труда. Важным фактором успешного перехода к системе точного земледелия выступает достаточная обеспеченность комплексом компьютеров, специальных приборов и оборудования для использования глобальной системы позиционирования (ГСП), географических информационных систем (ГИС) и современных сенсорных приборов для управления полевой техникой и оборудованием [2, 3].

Многолетние отечественные теоретические исследования высокотехнологичного комплекса приёмов точного земледелия (организационно-экономические составляющие, цифровизация, информационные технологии на основе ГСП и ГИС, автоматическое управление техникой, применение сенсоров и приёмов полной компьютеризации и др.) в последние десятилетия позволили разработать предложения для практической их реализации в хозяйствах в рамках освоенных систем современного земледелия [6, 7]. Активная проверка на стационарных полевых полигонах и непосредственно в производственных хозяйствах свидетельствуют о практических возможностях перехода к более точным технологиям в отечественном растениеводстве. Научное обоснование, создание и проектирование программ, последующее их освоение и практическая проверка в разных географических точках страны подтверждают возможности гарантированного получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, сохранения плодородия почв и экологической стабильности агроценозов практически во всех почвенно-климатических условиях.

Следует учитывать, что точное (прецизионное, цифровое, координатное) земледелие – это не комплекс новых агротехнологических приёмов, как это было с ранее осваиваемыми агросистемами (травопольная, пропашная, зональная, адаптивно-ландшафтная, no-till и др.). Комплекс приёмов точного земледелия предназначен в основном для реализации уже существующих,

рекомендованных аграрной наукой и освоенных производством для каждой почвенно-климатической зоны, оптимальных технологий земледелия [7], но на новом высокоточном и высококачественном уровне выполнения всех агротехнологических производственных процессов. Главная цель точного земледелия, обладающего комплексами систем глобального позиционирования и географических информационных систем, компьютерным обеспечением и высокой технической энерговооружённостью, заключается в переводе производственных процессов на новый уровень выполнения технологических приёмов. При этом необходимо учитывать огромный объём условий, факторов и свойств составляющих гетерогенного агротехнологического комплекса по возделыванию растений (генетико-физиологические особенности культур и сортов, почвенно-климатические условия, рельеф, пестрота и свойства почвенного покрова, потребность и обеспеченность растений элементами минерального питания и влагой, степень засорённости, уровни химизации и др.). Все элементы точного земледелия в конечном итоге должны быть направлены на обеспечение стабильной продуктивности полевых культур посредством скрупулёзного соблюдения освоенных технологических приёмов и устранения негативных факторов, снижающих урожайность. Комплексное применение информационных технологий, автоматического управления техникой, сенсоров, робототехники и полной компьютеризации способствует пунктуальному выполнению всех технологических операций и, в этой связи, получению высокоэффективных результатов. При этом все технологические операции должны соответствовать высоким нормативным агротехнологическим, экономическим и экологическим требованиям, а также обеспечивать сохранение почвенного плодородия.

Учитывая изложенные требования, переход к точному земледелию будет успешен только при высоком уровне всестороннего развития хозяйств: устойчивой экономике, высокой доходности, отличной организации производства и безупречной трудовой дисциплине, при обеспеченности классными специалистами, высокой культуре земледелия и освоении передовых технологий возделывания полевых культур. В качестве базовой основы при разработке приёмов точного земледелия в сибирских условиях в основном должна использоваться адаптивно-ландшафтная система земледелия, которая достаточно полно дифференцирована к различным экологическим условиям и адаптирована к уровням интенсификации, а также к социально-хозяйственным укладам и природным условиям региона [6, 7, 8]. Переход к новой системе земледелия может быть выполнен в целом, по отдельным звеньям производства (овощеводство, картофелеводство, льноводство и др.) или при территориальном освоении (отделение, бригада). Освоение составляющих точного земледелия необходимо проводить в соответствии с проектной документацией.

Современное состояние сибирского земледелия. Рассматривая проблемы земледелия региона, мы имеем ввиду географическую территорию Сибири, куда включены не только административные субъекты Сибирского федерального округа (СФО) – республики Алтай, Тыва, Хакасия, Алтайский и Красноярский края, Новосибирская, Омская, Томская, Кемеровская и Иркутская области, но и Уральского (Тюменская область) и Дальневосточного (Бурятия и Забайкальский край) федеральных округов. Перечисленные регионы объединяют близкие природные условия, единые почвенно-климатическое зонирование, социальный уклад и тесные связи населения [9]. Практически на всей этой территории земледелие позонально базируется на однотипных почвах, использовании практически одинакового видового состава культур и систем агротехнологий, а также при близких уровнях экономического состояния растениеводства [10, 11, 12].

Реформации сельскохозяйственного производства, свершившиеся 30 лет тому назад, привели к разрушению коллективных хозяйств (колхозов и совхозов), изменению собственности на землю, орудия и результаты производства, упрощению технологий возделывания полевых культур. Многие собственники забросили свои участки, другая часть землевладельцев, присоединив пустующие территории соседей, попыталась возродить единоличные хозяйства. Однако часть из них продолжает работать, к сожалению, на уровне выживания. Результаты сравнительного анализа свидетельствуют, что в последние десятилетия сельскохозяйственное производство на сибирских землях сильно отстаёт от уровня 90-х гг. прошлого века по социально-экономическому развитию и материально-техническому обеспечению АПК. Повсеместно отмечается прогрессирующее снижение плодородия почв, как в связи с интенсивным парованием, так и из-за резкого снижения применения органических и минеральных удобрений. Так, внесение минеральных удобрений в последние 20 лет в среднем по СФО находилось на уровне 5…10 кг/га д.в. в год [11, 12]. Для большинства хозяйств свойственна низкая технологическая дисциплина при возделывании полевых культур, а также недостаточная обеспеченность квалифицированными специалистами. Все эти продолжающиеся, чаще стихийно, реформации привели сибирское земледелие к нежелательным последствиям, о чём свидетельствуют обобщённые материалы институтов СФНЦА по современному состоянию сибирского села [10, 11, 12]. Земледелие на примере региона за четверть века (с 1986–1990 гг. по 2010–2015 гг.) потеряло 20 % пахотных земель, при этом общие посевные площади сократились в 1,5 раза, в том числе под зерновыми – в 1,2 раза. Средняя урожайность зерновых по годам за 25-летний период не изменилась в лучшую сторону, оставаясь на уровне 1,4…1,6 т/га, а валовой сбор зерна снизился в 1,6 раза. Значительные негативные изменения отмечаются и в животноводстве. Недостаточное благополучие в аграрном секторе в регионе связано с комплексом причин, а основной из них служит то, что крестьянин – житель села, чаще брошен на самостоятельное выживание. Несмотря на жёсткие природные и климатические условия уровень господдержки в СФО в расчёте на 1 га пашни в 1,8…1,9 раза ниже среднероссийского, оказание несвязанной поддержки растениеводства составляет 21,3 %, отраслей животноводства – 12,3 % [11]. Сибирские экономисты считают, что низкий уровень материально-технической оснащённости – одна из ключевых причин неэффективности агропромышленного производства и невысокой его рентабельности [11]. Другие, не менее значимые для устойчивого развития села, факторы – слабая материально-техническая база (фондооснащённость сельхозпроизводства составляет 52,9 % от среднероссийского уровня), устойчивая тенденция снижения численности и недостаточной занятости населения (уровень занятости – 57 %), низкая заработная плата работающих (18…20 тыс. руб. в месяц) и, несомненно, недостаток квалифицированных кадров [12].

Судя по перспективным планам «Стратегии социально-экономического развития АПК СФО до 2035 г.» [12], отмеченные недостатки, в лучшем случае, будут ликвидированы только через 15…20 лет. Причём основополагающие отраслевые параметры стратегического развития не подкреплены финансовыми средствами, объёмами применения удобрений и средств защиты растений, количеством технологических машин и оборудования, а также соответствующими кадрами. В этой связи, на преобладающей части территории природного региона проблематично ожидание благоприятных условий для широкого освоения точных приёмов в сельскохозяйственном производстве в ближайшие годы.

В сибирском земледелии существует значительное расслоение товаропроизводителей по количеству земли и работников, по обеспеченности финансовыми ресурсами и материально-техническими

1. Возможные уровни продуктивности зерновых культур (т/га) в зависимости от природных условий Сибири и систем ведения земледелия [8]

Природный фактор			Система земледелия			
инсоляция тепло	увлажнение	плодородие почв	экстенсивная	ординарная	интенсивная	высокоинтенсивная
Подтайга (сумма активных t>10°С = 1700…1800°С, осадки 400…450 мм, вегетационный период – 110…115 дней)						
4,0...5,8	3,8...5,0	6...1,5	0,5...1,0	0,7...1,6	2,6...4,0	3,6...5,0
Лесостепь (сумма активных t>10°С = 1800…2000°С, осадки 300…400 мм, вегетационный период – 120…130 дней)						
5,0...7,2	1,7...4,5	1,2...2,4	0,8...1,5	1,0...2,4	2,2...3,5	3,5...4,0
Степь (сумма активных t>10°С = 2000…2400°С, осадки 200…280 мм, вегетационный период – 125…135 дней)						
4,0...8,6	0,8...2,5	1,0...1,6	0,4...1,3	0,8...1,6	1,5...2,2	2,0...2,7
Примерное число хозяйств, работающих по системе, %			45...50	35...40	10...15	менее 5

средствами, по числу работающих, по уровню ведения земледелия, по обеспеченности удобрениями и средствами защиты растений, а, главное, – по размерам получаемых урожаев полевых культур и рентабельности хозяйственной деятельности. Анализ состояния и форм ведения сибирского земледелия в последние годы свидетельствует, что преобладающая часть крестьянских и фермерских хозяйств ведут растениеводство на уровне экстенсивного и ординарного типов земледелия (табл. 1). Первые эксплуатируют пашню, используя парование, и ничего не возвращая назад; вторые, также активно используя пары, пытаются по возможности, наряду с агротехническими приёмами борьбы с сорняками, выборочно обрабатывать посевы гербицидами, а иногда и вносить удобрения малыми дозами. Около половины всех фермеров, как правило, работают по экстенсивной системе.

При экстенсивном земледелии урожайность зерновых обычно составляет не более 1,5 т/га, только в очень благоприятные годы и по пару она может достигать 1,7…2,0 т/га. Урожайность полевых культур при этой системе, как правило, формируется только благодаря естественному плодородию почв, в основном, при мобилизации доступных форм элементов питания при паровании. Паровое поле даёт возможность накопить доступные формы элементов питания и избавиться от сорняков. В большинстве хозяйств преобладает трёхпольное чередование культур (пар – пшеница – ячмень или овёс). Ряд фермеров для гарантированного получения урожая до сих пор, к сожалению, практикуют двухполку (пар – зерновые). Без сомнения, эта многочисленная группа хозяйств бесперспективна для точного земледелия. От разорения и банкротства их может спасти только помощь государства в виде кредитных вложений и дотаций. Часть этих хозяйств ежегодно сворачивает производство и ликвидируется, некоторые более удачливые земледельцы постепенно переходят на следующую ступень ведения земледелия – ординарную систему.

Значительная часть хозяйств, работающих по ординарной системе земледелия (сбор урожая от 0,7 до 2,4 т/га), наряду с активной эксплуатацией земли посредством мобилизации почвенного плодородия при паровании, вносят небольшие дозы минеральных удобрений при посеве, иногда, при некорневой подкормке растений в период вегетации. Нерегулярно используются удобрительные ресурсы твёрдого и жидкого навоза КРС и птичьего помёта. В ряде хозяйств освоены сидеральные пары, в большинстве из них вынос элементов питания частично возмещается путем разбрасывания измельчённой соломы зерновых и послеуборочных остатков подсолнечника, рапса и бобовых культур. Для таких хозяйств крайне необходимо государственное субсидирование, поскольку при повышении культуры земледелия, освоении севооборотов, применении удобрений, средств защиты растений и приобретении новой техники они успешно могут поэтапно осваивать региональные системы земледелия [13, 14, 15], в основу которых заложены принципы адаптивно-ландшафтного земледелия [6, 7, 16].

При ординарной системе земледелия для стабилизации урожайности хозяйствам необходимо вносить с минеральными и органическими удобрениями до 30…45 кг/га азота, фосфора и калия при соотношении N:P:K = 4...5 : 2...3 : 1. Достигнув уровня продуктивности зерновых 1,7…2,4 т/га, товаропроизводители, могут использовать элементы цифровизации, в частности переводить отдельные технологические операции и приёмы на уровень точного земледелия. Дальнейшее направление развития хозяйств ординарного типа при повышении урожайности культур и экономической доходности, неизбежно связано с переходом на интенсивную форму земледелия. Одним из оптимальных вариантов на этом уровне в сложившейся ситуации может быть объединение нескольких рядом расположенных хозяйств в укрупнённое предприятие с чёткой целью перехода на уровень интенсивного земледелия. Практика современного сельскохозяйственного производства свидетельствует, что устойчивость именно таких хозяйств резко возрастает.

При интенсивном земледелии следует максимально использовать природный потенциал и все ресурсы адаптивно-ландшафтной системы земледелия в сочетании с повышенным уровнем агротехники: применением удобрений (до 60…75 кг/га д.в.), средств защиты растений и полным обеспечением современной техникой. У собственников сельскохозяйственных предприятий этой группы появляются возможности получения максимальной урожайности зерновых и других культур во всех почвенно-климатических зонах. Интенсивное земледелие в хозяйствах этого уровня, несомненно, должно базироваться на строгом соблюдении рекомендуемого зонального комплекса технологических приёмов возделывания культур севооборотов, полного использования природных ресурсов климата и почвенного плодородия, предотвращения эрозионных процессов, при техническом перевооружении и строгом соблюдении агротехнической дисциплины. При этом предусматривается бездефицитный баланс гумуса и элементов минерального питания, которые поддерживаются интенсивным применением промышленных, органических и биологических удобрений в расчёте на вынос элементов питания с урожаем и поддержание плодородия почвы. Защита растений от сорняков, вредителей и болезней осуществляется с использованием интегрированного комплекса агротехнических, биологических и химических средств. Среди хозяйств этой группы наиболее устойчивы, как правило, холдинговые образования. Крупные предприятия, обладающие достаточными капиталами, хорошо оснащенные техникой, складскими помещениями с сушилками, применяющие удобрения и средства защиты растений, использующие перспективные культуры и новейшие сорта, соблюдающие рекомендуемые аграрной наукой технологии и имеющие возможность приглашать квалифицированных специалистов. Они, несомненно, представляются реальными претендентами для освоения точного земледелия. В каждой республике, крае, области имеется по нескольку таких крупных экономически устойчивых хозяйств разных форм собственности, которые служат примером реализации возможностей природных и организационно-хозяйственных ресурсов региона.

Хозяйства с высокоинтенсивной системой земледелия в Сибири, как правило, единичны, в большинстве работают на уровне интенсивных технологий и не все освоили точное земледелие в полной мере. Такие предприятия могут служить плацдармом для полномасштабного освоения элементов цифровизации и комплекса приёмов точного земледелия во всех отраслях производственной деятельности.

2. Урожайность зерновых культур в зависимости от уровня применения удобрений при разных системах сибирского земледелия за 2015–2019 гг.

Субъект РФ	Применение удобрений		Урожайность зерна, т/га	
	минеральных, кг/га д.в.	органических, т/га	пределы варьирования	средняя
Сибирский ФО	14,0	0,7	1,44...1,73	1,61
Уральский ФО	23,3	1,0	1,61...1,92	1,70
Переход к интенсивному земледелию				
Тюменская область	43,6	0,7	1,88...2,33	2,08
Красноярский край	31,7	0,9	2,04...2,39	2,19
Иркутская область	26,7	0,7	1,64...2,04	1,90
Ординарное земледелие				
Томская область	19,2	1,5	1,53...2,1,6	1,87
Кемеровская область	18,4	0,5	1,56...2,01	1,80
Переход к ординарному земледелие				
Республика Хакасия	15,2	0,1	1,23...1,94	1,47
Алтайский край	11,5	0,3	1,10 ...1,56	1,37
Новосибирская область	7,2	0,9	1,45...1,82	1,65
Омская область	6,2	1,0	1,51... 1,67	1,59
Экстенсивное земледелие				
Республика Бурятия	7,4	0,3	1,77...1,41	1,07
Забайкальский край	2,8	0,1	1,11...1,49	1,27
Республика Алтай	1,0	0,7	1,00...1,60	1,23
Республика Тыва	0,1	2,2	0,82...1,94	0,97

Предложенная нами схема группировки сибирских хозяйств по уровням интенсификации полностью согласуется с обобщёнными данными по урожайности зерновых в субъектах РФ в зависимости от основного фактора интенсификации – уровня применения удобрений (табл. 2). Выборка урожайных данных в регионе [17] за предшествующее пятилетие и анализ результатов работы растениеводства свидетельствует о том, что в части сибирских субъектов РФ средняя урожайность зерновых возросла до уровня 2 т/га, то есть практически до нижнего уровня интенсивного земледелия. Лидеры (Тюменская и Иркутская области, Красноярский край), при ежегодном среднем внесении около 30…40 кг/га д.в. удобрений, устойчиво собирают более 2 т/га зерна, постепенно приближаясь к уровню продуктивности зерновых при интенсивном земледелии, в то время как в основной группе субъектов СФО (Алтайский край, Новосибирская и Омская области), на долю которых приходится около 2/3 посевов зерновых, вносили лишь 6…11 кг/га д.в. удобрений и получали урожайность 1,4...1,6 т/га, что ниже среднего уровня по СФО.

Статистический анализ значимости применения минеральных удобрений в 2015–2019 гг. свидетельствует о тесной экспоненциальной зависимости уровня урожая зерна от нормы вносимых туков. Подтверждением этому служит модель экспоненциальной регрессии в виде уравнения: $У = 12,05\ e^{0,017x}$ при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,680$.

Решающую роль систематического применения удобрений для формирования стабильно высоких урожаев в регионе при высокой окупаемости их в действии и последействии доказывают многолетние данные длительных стационарных полевых опытов, проводимых на сибирских зональных почвах в течение 60...75 лет [18]. Суммарная оплата за годы действия и последействия 1 т навоза оставляет 0,9…1,1 ц зерна, 1 кг д.в. NPK – 8…15 кг зерна. Увеличение суммарной нормы внесения NPK (до 60…75 кг/га д.в.), как свидетельствуют результаты этих опытов, позволит повысить урожайность классного зерна в хозяйствах интенсивного типа до 3,0…4,5 т/га. При подъёме сельскохозяйственного предприятия до уровня высокоинтенсивного с полным освоением и использованием всех преимуществ точного земледелия, а также при суммарном внесении всех туков на уровне 95…135 кг/га д.в. продуктивность сибирской пашни возрастает до 3,5…5,0 т/га и более, что убедительно подтверждают производственные посевы передовых хозяйств в течение многих лет [19, 20, 21].

Хорошо известно, что значительная часть почв всех природных зон региона в соответствии с результатами агрохимического обследования характеризуется низкой обеспеченностью доступными элементами минерального питания [22]. Это не только ограничивает формирование урожая, но, опосредованно, сдерживает реализацию генетического потенциала сорта, снижает окупаемость затрат на семена, посев, обработку почв, средства защиты растений, уборочные работы и др. С целью оптимизации питания зерновых культур ранее [8] были предложены нормативы применения удобрений с учётом почвенно-климатических зон и планируемой урожайности (табл. 3). Уточнение норм внесения туков необходимо проводить до посева в соответствии с имеющимися агрохимическими картограммами. Более эффективно удобрения применяются при точном земледелии: при предварительной оцифровке полей и последующем дифференцированном их внесении.

Производственная проверка приёмов точного земледелия на чернозёмах и серых лесных почвах Северного Зауралья [4, 23] и Омского Прииртышья [24] подтвердила возможность их широкого использования при агрохимическом обследовании почв, применении удобрений и получении стабильно высокой продуктивности полевых культур.

К цифровизации и точному земледелию. Среди ключевых направлений цифровой трансформации в сельскохозяйственном производстве, согласно директивам МСХ РФ [25], наиболее значимы: автоматизированный сбор, хранение и обработка информации, освоение цифрового проектирования и управление производственными процессами. Силы специалистов должны быть направлены на первоочередное решения трёх указанных задач. При этом цифровой багаж накопленных материалов станет основой для выбора эффективных отраслевых направлений и технологий для каждого хозяйства с учётом его природно-климатических факторов, перспективной направленности, энерговооружённости и финансовой стабильности.

Достаточно весомое обоснование целесообразности использования цифровизации в земледелии страны предложили сотрудники Почвенного института им. В. В. Докучаева [2, 6]. Программные направления теоретических и прикладных положений цифровизации и точного земледелия, изложенные в их работах, могут служить стимулом для дальнейшего развития этого направления в стране.

В условиях Сибири, как нам представляется, при переходе к освоению системы точного земледелия в каждом хозяйстве необходимо предварительно обобщить и проанализировать накопленный цифровой материал по всем природным и производственным составляющим. Многолетний анализ климатических и погодных условий позволит подобрать набор наиболее приспособленных и урожайных культур

3. Ориентировочные нормативы применения удобрений и возможные уровни урожайности зерновых культур в зависимости от систем ведения земледелия в природных условиях региона

Показатель	Система ведения земледелия			
	экстенсивная	ординарная	интенсивная	высоко интенсивная
Нормы внесения минеральных удобрений для получения урожая				
NPK, кг/га д.в.	0…20	30…45	60…75	95…135
Уровни продуктивности зерновых культур, т/га				
Тайга, подтайга	0,5...1,0	0,7...1,6	2,6...4,0	4,0...5,0
Лесостепь	0,8...1,5	1,0 ...1,8	2,2...3,5	3,5...4,0
Степь	0,4...1,1	0,8...1,6	1,5...2,0	2,0...2,5

и сортов с развёрнутой их генетической характеристикой. Цифровая оценка свойств почвы каждого поля севооборота даст возможность оценить уровень ее плодородия, разработать оптимальные системы использования, а также потребности в применении органических и минеральных удобрений. Оптимальный комплекс агротехнологических приёмов (севообороты, обработка почвы, защита растений и уход за ними, уборка и хранение урожая) позволит решить основную проблему – получение планируемых уровней продуктивности полевых культур.

Активность и результативность освоения приёмов точного земледелия будут зависеть от уровня комплексной цифровизации в целом предприятия любого направления и конкретных приёмов. Поэтапное внедрение всех агротехнологических составляющих в комплексе с приёмами точного земледелия очень сложный и длительный процесс, поэтому требуются соответствующие проекты, надёжное финансирование и квалифицированные кадры для его реализации в жизнь. В процессе совершенствования интенсивных технологий вполне возможны, в соответствии с проектом, несколько подходов освоения приёмов точного земледелия. Первый вариант – поэтапный: а) по производственным отраслям (зерно, корма, овощи, технические культуры и др.); б) по технологическим процессам (почвенно-агрохимический, агротехнологический, защита растений, уборочный цикл и др.); в) по структурным подразделениям (отделение, бригада, ферма, комплекс и др.). Второй вариант – комплексный: освоение в целом по хозяйству, по всем отраслям и производственным подразделениям одновременно. Несомненно, что второй вариант более сложный и затратный по одновременным финансовым вложениям, но, как показывает практика, наиболее эффективный и целесообразный для реализации природных и антропогенных ресурсов. Предположительно, значительная часть хозяйств (50...75 %) в процессе освоения интенсивных технологий и активного использования цифровизации может освоить и перейти на систему точного земледелия. Сельскохозяйственные предприятия при освоении систем цифровизации и переходящие на точные технологии ведения всех отраслей производства, будут использовать все новинки аграрной науки, компьютеризации, информационного обеспечения, глобального позиционирования и автоматизации управления техникой. У хозяйств, переходящих в разряд высокоинтенсивных, есть все предпосылки для производства в сибирских условиях качественного зерна на уровне 4…5 т/га.

В условиях региона имеется пока небольшой научный и производственный опыт освоения отдельных элементов точного земледелия. К сожалению, о результатах эффективности нового направления в хозяйствах достоверных сведений немного. Научные исследования профессора Н. В. Абрамова и его учеников [4, 19, 23], проверенные в производстве, свидетельствуют о положительной эффективности использования геоинформационных систем в ОАО «Приозёрное» на площади 2671 га и в Учхозе ГАУ Северного Зауралья на площади 3454 га. Под влиянием новых технологий сбор зерна пшеницы увеличился с 2,8 до 3,9 т/га и с 3,5 до 3,8 т/га, соответственно. При этом рентабельность производства зерна возрастала на 15 и 24 %, а себестоимость зерна уменьшалась на 118 и 145 руб./т.

Основные принципы методологии приёмов точного земледелия на базе передовых направлений цифровизации, развития микроэлектроники, информационной и телекоммуникационной техники, создания глобальных систем позиционирования и геоинформационных систем [3] могут быть реализованы, как можно было убедиться ранее, только при освоении интенсивных и высокоинтенсивных технологий. В сибирском земледелии единичны финансово крепкие предприятия, которые широко используют цифровизацию во всех отраслях и уже освоили систему точного земледелия. Примером полностью освоившего и продуктивно работающего по системе точного производства хозяйства может служить ООО «Агрофирма КРиММ» Тюменской области [20]. Это предприятие холдингового типа, обладая 26 тыс. га пашни, специализируется на выращивании семенного и продовольственного картофеля, а также имеет посевы зерновых культур, рапса и овощей открытого грунта. Хозяйство поэтапно освоило и использует приёмы точного земледелия. На основе GPS и средств космической навигации осуществляется автоматическое управление технологическими процессами (посадка, междурядная обработка и уборка), мониторинг влажности почвы (оптимизация влагоёмкости почвы, расчёты норм и сроков полива), наблюдение за состояниям плодородия почв, контроль автотранспорта и агрегатируемого оборудования (местонахождение, скорость перемещения, количество заправок, остановок), точности соблюдения агрономических технологий (посевные работы, уход за посевом, уборка). Урожайность картофеля за последние три года составляет 39…43 т/га, зерновых – 3…4 т/га.

Одно из эффективно работающих сельских предприятий в Новосибирской области – ООО «Соколово» [21] уже несколько лет активно использует спутниковую связь для обработки почв, проведения посева полевых культур и при уборке урожая. Агрохимическое обследование, выборочное внесение удобрений и опрыскивание растений пестицидами против сорняков, вредителей и болезней проводятся при использовании ГИС и GPS. Продуктивность пшеницы и других яровых зерновых на площади 15 тыс. га в среднем превышает 3 т/га, а на отдельных полях – 4,0…4,5 т/га, максимальный урожай зерна пшеницы на опытном участке был получен 7,0 т/га.

В сибирских условиях практически в каждом административном субъекте РФ имеется 2...3 хозяйства, которые осваивают или находятся на заключительном этапе возможного освоения системы точного земледелия (ЗАО «Ирмень» Новосибирской области, Агрохолдинг «Агро-альянс Сибири» и ООО «Назаровское» Красноярского края, ООО «Октябрьское и «Альтаир» Алтайского края, Учхоз ГАУ Северного Зауралья Тюменской области и др.). Они ежегодно получают средние урожаи зерна на уровне 3…5 т/га и вполне могут переходить к освоению технологических систем не только точного земледелия и растениеводства, но и осваивать комплексно технологию точного ведения всех отраслей производства (животноводства, кормопроизводства, промышленной переработки сырья и др.).

Задачи освоения цифровизации и перехода к точному земледелию. Одним из важнейших условий успешного освоения точных приёмов во всех отраслевых направлениях сельскохозяйственного производства, следует считать наличие полноценной цифровой базы данных, всесторонне охватывающей все процессы агротехнологического производства. Деловой интерес к цифровому анализу хозяйственной деятельности любого предприятия (от экстенсивного до высокоинтенсивного) должен стать обязательным правилом любого предпринимательства, независимо от числа работников и объёма производства.

Для успешного решения задач цифровизации и точного земледелия в субъектах Сибирского федерального округа (СФО) необходима активная позиция властных структур. Разработка перспективных программ по этим вопросам и действенная помощь в их осуществлении (административная, образовательная, бюджетная и экономическая), направленная на поэтапный перевод сельхозпредприятий на более высокие категории хозяйствования (с экстенсивных в ординарные, затем в интенсивные и далее в высокоинтенсивные) будет целенаправленно способствовать укреплению экономики предприятий, повышению урожайности, поддержанию плодородия почв и необходимости освоения новых технологий.

С целью повышения эффективности ведения земледелия до интенсивного уровня властям субъектов РФ необходимо разработать перспективные

программы повышения квалификации руководителей и специалистов, экономической поддержки хозяйств, предусматривая субсидии на удобрения и агрохимикаты, а также техническое перевооружение.

Весьма положительно, что проект МСХ РФ «Цифровое сельское хозяйство» [25] предусматривает создание и внедрение национальной платформы цифрового государственного управления сельским хозяйством на региональном и муниципальном уровнях с возможностью получения государственной поддержки. При этом планируется повышение эффективности деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, производительности труда в 2 раза на одного работника, а также сокращения затрат сельскохозяйственных предприятий. Этим же документом предусматривается на базе аграрных вузов Минсельхоза РФ создание системы непрерывной подготовки специалистов сельскохозяйственных предприятий с целью формирования у них компетенций в области цифровой экономики.

Сегодня сельскохозяйственные вузы Сибири практически не готовят специалистов для работы с использованием информационных технологий, микрокомпьютеров, географических информационных систем глобального позиционирования и автоматического управления сельскохозяйственными машинами, а также проектирования систем точного земледелия и других отраслей сельскохозяйственного производства на основе цифровизации.

Реальное состояние сибирского земледелия, изложенное в статье, характерно для многих регионов страны, поэтому освоение подходов и приёмов цифровизации и точного земледелия должно быть строго дифференцированным как к природным, так и к социальным условиям. Первоочередным условием должна быть также сознательная готовность к этому основного звена сельскохозяйственных работников – товаропроизводителей. Как уже отмечалось, главное условие возможности перевода аграрного сектора на системное использование средств цифровизации и точного растениеводства – максимально высокий уровень экономического состояния хозяйствующего субъекта. В сибирских условиях потенциал хозяйства должен, как минимум, соответствовать высокоинтенсивному уровню. Для таких хозяйств целесообразно разработать перспективный план освоения цифровизации и точного земледелия. Для подготовки проектов системы перехода к точному земледелию в условиях конкретного хозяйства возможно и целесообразно создать проектные подразделения при Центрах агрохимической службы.

Особого внимания заслуживают вопросы цифровизации агрохимического направления в точном земледелии. В последние годы накоплен большой массив материалов в научно-исследовательских учреждениях и учреждениях государственной агрохимической службы, по агрохимической оценке пахотных земель и эффективности применения удобрений под полевые культуры. Эти экспериментальные материалы недостаточно обобщены и ещё плохо используются в практических целях. В программе цифровизации необходимо предусмотреть обобщение данных об эффективности применения минеральных и органических удобрений с учётом многолетнего последействия. Использование этих нормативов позволит дать истинную агрохимическую и экономическую оценку их систематического применения в севооборотах [18].

С целью расширения исследовательской работы по направлениям адаптивно-ландшафтных систем земледелия, приёмов точного земледелия, биологического и органического направлений в Сибири целесообразно создать соответствующую экспериментальную базу. Сегодня в регионе нет ни одного комплексного полнокровного научного полигона, оснащённого современными тракторами, комбайнами, сельскохозяйственной техникой, дистанционными приборами, компьютерами, где могли бы быть проверены современные технологии, новые подходы, передовые направления (адаптивно-ландшафтная система, точное земледелие, No-till, Strip-till и др.). Комплексные исследования при поддержке РАН, Министерства науки и высшего образования и Министерства сельского хозяйства позволили бы иметь современный полигон для разработки эффективных приёмов ведения земледелия. Результаты научных исследований и практической проверки, несомненно, могли бы успешно содействовать решению проблем продовольственной безопасности в восточных регионах страны.

Литература.

1. Шатилов И. С. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1987. 358 с.

2. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.

3. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) / под общей ред. Д. Шпаара, А. Захаренко, В. Якушева. СПб.-Пушкин, 2009. 392 с

4. Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Шерстобитов С. В. Земледелие с использованием космических систем // Земледелие. 2015. № 6. С. 13–17.

5. Диагностика азотного питания растений с использованием беспилотных летательных аппаратов / В. Г. Сычёв, Р. А. Афанасьев, И. Л. Ермолов и др. // Плодородие. 2017. № 5. С. 2–4.

6. Цифровое земледелие / В. И. Кирюшин, А. Л. Иванов, И. С. Козубенко и др. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 4–9.

7. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство / под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 784 с.

8. Гамзиков Г. П. Проблемы освоения точного земледелия и агрохимических цифровых технологий в Сибири // Агрохимическое обеспечение цифрового земледелия: материалы. межд. конф. М.: ВНИИ агрохимии, 2019. С. 8–15. doi: 10.25680/vniia.2019.98.96.009.

9. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков и др. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 512 с.

10. Обеспечение продовольственной безопасности регионов Сибири / П. М. Першукевич, Н. И. Кашеваров, А. С. Донченко и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 148 с.

11. Межрегиональная схема размещения и специализации сельскохозяйственного производства в субъектах Российской федерации Сибирского федерального округа: рекомендации / под ред. А. С. Донченко. Новосибирск: ФГБУ СО РАН, 2016. 255 с.

12. Стратегия социально-экономического развития АПК Сибирского федерального округа до 2035 года: региональный аспект / под ред. акад. Першукевича П. М., д.э.н. Тю Л. В. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. 108 с.

13. Научные основы систем земледелия Бурятии / В. Б. Бохиев, А. П. Батудаев, Т. П. Лапухин и др. Улан-Удэ: Изд-во БГСХИ, 2008. 480 с.

14. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: руководство / Р. В. Алхименко, Н. А. Сурин, А. А. Шпедт и др. КНИИСХ. Красноярск, 2015. 590 с.

15. Система адаптивного земледелия Омской области / под ред. И. Ф. Храмцова, В. С. Бойко, Л. В. Юшкевича. Омск: Омский АНЦ; Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2020. 522 с.

16. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / под ред. А. Л. Иванова, Л. М. Державина. М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.

17. Регионы России. Социально-экономические показатели. М.: 2020. URL: https:// rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения 24.04.2021).

18. Эффективность длительного применения удобрений в полевых агроценозах Сибири / Г. П. Гамзиков, О. И. Гамзикова, П. А. Барсуков и др. // Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2014. Вып. 16. 48 с.

19. Абрамов Н. В. Производительность агроэкосистем и состояния плодородия почв в Западной Сибири. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2013. 254 с.

20. ООО «Агрофирма КРиММ» URL: http://krimm.ru/o-kompanii (дата обращения 12.03.2021).

21. «Соколово» = триумфальная неудача» Председатель. № 9. 2019. URL: https:// predsedatel-apk.ru/rastenievodstvo/sokolovo-trumfalnaudacha/ (дата обращения: 12.01.20).

22. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. М.: Изд. ВНИИА, 2005. 184 с.

23. Абрамов Н. В., Шерстобитов С. В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации // Агрохимия. 2018. № 9. С. 40–49. doi: 10/1134/ s000218811809003x.

24. Новый способ почвенно-агрохимического обследования земель равнинных регионов / В. М. Красницкий, А. Г. Шмидт, Л. В. Березин и др. // Плодородие. № 1. 2016. С. 10–12.

25. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 48 с.

Precision farming in Siberia: Realities, challenges and prospects

G. P. Gamzikov
Novosibirsk State Agrarian University, ul. Dobrolyubova, 160, Novosibirsk, 630039, Russian Federation

Abstract. *The current state of Siberian agriculture is analyzed, which indicates its significant resource potential, which is poorly realized today. The low level of agricultural productivity in the region is due to the weak social and financial levels of commodity producers, about half of which are engaged in extensive farming using only the fertility potential of the fallow field, without fertilizers and plant protection products. The average grain yield at 2-3-field rotation (fallow-grain) rarely exceeds 1 t/ha. Meanwhile, under the same weather conditions, intensive farming farms harvest 2–3 t/ha of grain. Consequently, the time has come to radically change the attitude towards agriculture. The stability of the commodity producer's survival and achievement of high productivity of field crops under the conditions of the region completely determines the level of optimization of socio-economic and organizational-economic conditions regulated by the authorities and depends on its qualifications and professional insight. To solve these problems, precision farming is promising. The basic approaches and methodology of precision farming techniques can be partially or completely implemented in the process of phased development of intensive and high-intensity field crop cultivation technologies based on an adaptive landscape farming system. The integrated implementation of precision and agrotechnological systems is possible only with state support for the necessary organizational, financial and personnel changes, which will effectively and successfully solve food security problems at a new technical level. Today, under Siberian conditions, the full development of precision farming is feasible only for financially strong farms that have mastered intensive technologies. The use of high-intensity varieties, mineral fertilizers (not less than 100 kg a.s./ha), plant protection products and modern technology allow them to steadily harvest grain crops of 3–5 t/ha and more. Gradually, farms of any form of ownership that have mastered high-intensity agricultural technologies can also be connected to a phased transition to precision farming techniques.*

Keywords: *natural conditions; state of farming; intensification; complexity; digitalization; precision farming; fertility conservation; agricultural technologies; field crops; high productivity.*

Author Details: *G. P. Gamzikov, member of the RAS, D. Sc. (Biol.), chief research fellow (e-mail: gamolgen@rambler).*

For citation: *Gamzikov GP [Precision farming in Siberia: Realities, challenges and prospects]. Zemledelie. 2022; (1):3-9. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-9-13
УДК 631.481

Почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия

А. А. ШПЕДТ[1,2], доктор сельскохозяйственных наук, директор, профессор (e-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru)
А. А. КОЗЛОВА[3], доктор биологических наук, доцент (e-mail: allak2008@mail.ru)
И. А. БЕЛОЗЕРЦЕВА[3,4], кандидат географических наук, доцент, зав. лабораторией (e-mail: belozia@mail.ru)
Н. И. ГРАНИНА[3], кандидат биологических наук, зав. кафедрой (e-mail: granina_n@list.ru)
О. Г. ЛОПАТОВСКАЯ[3], доктор биологических наук, профессор (e-mail: lopatovs@gmail.com)
Н. Д. КИСЕЛЕВА[3], старший преподаватель (e-mail: nata_kis71@list.ru)
С. Л. КУКЛИНА[3], кандидат биологических наук, доцент (e-mail: kukl_swet@mail.ru)
Н. А. МАРТЫНОВА[3], старший преподаватель (e-mail: natamart-irk@yandex.ru)
Д. Н. ЛОПАТИНА[4], кандидат географических наук, научный сотрудник (e-mail: daryaneu@mail.ru)
[1]Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН», Академгородок, 50, Красноярск, 660036, Российская Федерация
[2]Сибирский федеральный университет, просп. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Российская Федерация
[3]Иркутский государственный университет, ул. Карла Маркса, 1, Иркутск, 664003, Российская Федерация
[4]Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск, 664033, Российская Федерация

Исследования проводили с целью сравнительной почвенно-экологической оценки сельскохозяйственных земель ряда регионов Восточной Сибири: Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия. Южная их часть наиболее освоена, так как здесь сложились достаточно благоприятные природные условия для проживания человека и ведения сельского хозяйства. При этом резкая континентальность климата, пониженная тепло- и влагообеспеченность обусловливают развитие почв с маломощным гумусовым горизонтом, что в условиях интенсивного земледелия значительно снижает их устойчивость к агрогенному воздействию. Использовали методику качественной оценки почв, разработанную в Почвенном институте им. В. В. Докучаева с расчетом почвенно-экологического индекса. Она включает количественное отражение природно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель в баллах от 1 до 100, при этом максимальный 100-балльный индекс принадлежит черноземам типичным Краснодарского края. Согласно расчетам в ряде регионов Восточной Сибири величина этого показателя в Красноярском крае составляла 14,7…53,8 балла, в Иркутской области – 15,1…45,5 балла, в Республике Бурятия – 14,7…39,4 балла. Величина итогового почвенно-экологического индекса сельскохозяйственных земель Красноярского края в основном обусловлена почвенным почвенно-экологическим индексом и агрохимическим почвенно-экологическим индексом, в меньшей степени – климатическим почвенно-экологическим индексом. В Иркутской области величины этих показателей и итоговый почвенно-экологический индекс заметно ниже, чем в аналогичных агропочвах Красноярского края. Почвы агроландшафтов Бурятии выделяются самыми низкими значениями почвенного, агрохимического и климатического почвенно-экологических индексов, по сравнению с другими рассмотренными регионами.

Ключевые слова: *сельскохозяйственные земли, оценка почв агроландшафтов, почвенный индекс, агрохимический индекс, климатический индекс, почвенно-экологический индекс.*

Для цитирования: *Почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия / А. А. Шпедт, А. А. Козлова, И. А. Белозерцева и др. // Земледелие. 2022. № 1. С. 9–13. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-9-13.*

Ценность земли как основного средства сельскохозяйственного производства в конкретной хозяйственной инфраструктуре определяет ее плодородие, то есть способность удовлетворять потребности растений в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде для обеспечения формирования урожаев сельскохозяйственных культурных растений с хорошим качеством продукции. Мировой и отечественный опыт свидетельствуют,

что высокая и устойчивая продуктивность земледелия возможна лишь при комплексном учете всех агрохимических и экологических факторов, необходимых для нормального роста и развития растений, формирования урожая и его качества, недопущения деградации земель [1].

Значительная часть земель сельскохозяйственных предприятий характеризуется сильной изменчивостью в пространстве, мелкоконтурностью, пестротой плодородия почвенного покрова, что ограничивает их универсальное использование. Это обусловливает необходимость дифференцированной оценки агроэкологических условий земель и дает возможность проектировать и разрабатывать индивидуальные подходы к использованию земельных ресурсов [2].

Адаптивно-ландшафтная система земледелия – это система использования земель определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [3]. Для этого требуется тщательное изучение и учет экологических особенностей каждой конкретной территории. Полное использование генетического потенциала сельскохозяйственных растений для достижения высокой урожайности предполагает глубокую адаптацию аграрного производства к условиям среды посредством экологически и экономически целесообразного воздействия на агроценоз [4].

Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия реализуется в несколько этапов, основным из которых выступают качественная оценка почв, агроэкологическая оценка земель и их типизации. Предполагается также геоинформационное обеспечение и почвенно-ландшафтное картографирование, бонитировка почв и оценка продуктивности земель, проектирование и разработка моделей земледелия для сельскохозяйственных предприятий, разработка региональной ландшафтно-экологической классификации земель [3].

В России и за рубежом существует множество методов качественной оценки почв [5, 6, 7]. Коллективом авторов Почвенного института им. В. В. Докучаева разработана методика ее проведения на основе почвенно-экологических индексов (ПЭИ), которая включает количественное отражение природно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных земель в баллах от 1 до 100, при этом максимальный 100-балльный индекс принадлежит черноземам типичным Краснодарского края [8].

Цель исследования – сравнительная почвенно-экологическая оценка сельскохозяйственных земель в ряде регионов Восточной Сибири (Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия) с использованием расчета почвенно-экологического индекса для планирования рационального землепользования, охраны почв и почвенного покрова.

Исследовали пахотные и залежные агропочвы Канского природного округа Красноярского края, Иркутско-Черемховской равнины Иркутской области, Иволгинской котловины Республики Бурятия. Объектами исследования выступали следующие типы почв: дерново-подзолистые, серые лесные, дерновые лесные и дерново-карбонатные, черноземы оподзоленные, выщелоченные, обыкновенные и южные, каштановые, а также интразональные – аллювиальные и засоленные.

Канский природный район в геоморфологическом отношении представляет часть Канско-Рыбинской впадины, располагающейся на юго-западной окраине Средне-Сибирского плоскогорья. Характеризуется сложным геологическим строением, развитием карбонатных пород, сильным эрозионным расчленением. В формировании рельефа участвуют породы различного состава и возраста. Господствующие почвообразующие породы – палево-бурые лёссовидные суглинки и легкие глины, светло-бурые иловато-пылеватые суглинки и глины, темно-бурые пылевато-иловатые тяжелые суглинки и глины [9].

Важным фактором, влияющим на характер распределения растительности и почв на рассматриваемой территории, представляются климатические различия. Мера континентальности составляет 64…68 %. Средняя температура самого холодного месяца января равна -20 °С, самого теплого месяца июля – +18,8 °С. Теплообеспеченность в пределах зоны крайне неравномерная. Сумма температур выше +10 °С варьирует от 1561 до 1818 °С. Абсолютные температурные колебания достигают 95 °С, что характеризует климат региона как резко континентальный. Продолжительность безморозного периода составляет от 84 до 115 дней, среднегодовое количество осадков – 445 мм, гидротермический коэффициент (ГТК) – от 1,00 до 1,44 [10, 11, 12].

Территория района занята Канской лесостепью, в ландшафте которой сочетаются лес и травянистая степь. От центра к периферии ясно прослеживаются зоны степи и лесостепи. В растительности лесостепи преобладают лиственные леса с хорошо развитым травяным покровом, а также разреженный березняк на северных склонах. Разнотравные степи обладают высоким и густым травостоем. Преобладающее место в его флоре занимает мезофильное разнотравье. В структуре почвенного покрова почти две трети приходится на черноземы (64,0 %), с абсолютным доминированием обыкновенных (49,8 %). Выщелоченные (12,3 %) и оподзоленные черноземы (1,9 %) часто встречаются в комплексе с черноземами обыкновенными, занимая мелкие микропонижения [9].

Иркутско-Черемховский природный район в геоморфологическом отношении представляет предгорную равнину с высотой плоских поверхностей междуречий 550…650 м, слабо расчлененную неглубокими долинами. На дне долин рек минимальные отметки падают до 400…420 м. Относительные высоты достигают 120…150 м, средняя крутизна склонов 8°. Склоны преимущественно пологие (2…7°), изрезанные заболоченными долинами (падями) с постоянными или временными водотоками [13].

Иркутско-Черемховская равнина выполнена юрскими отложениями, представленными песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами, углистыми сланцами с прослойками углей. Юрские породы сравнительно легко разрушаются, что придает рельефу мягкие очертания, обусловливает формирование широких речных долин. Широкой полосой к юрским отложениям с юго-запада, юго-востока и севера прилегают нижне- и верхнекембрийские породы, представленные песчаниками, известняками, доломитами, доломитизированными известняками, что обусловливает проявление карста и формирование дерново-карбонатных почв. Почвообразующими породами служат также лессовидные суглинки буровато-палевого цвета различного происхождения, обогащенные карбонатами кальция и магния [14].

Территория Иркутско-Черемховской равнины занята Приангарской лесостепью со степными островами, климат которой суровее и континентальней (холоднее и суше), чем в Канской лесостепи. Так, сумма температур выше +10 °С составляет 1595…1656 °С, безморозный период – 83…99 дней. Средние месячные температуры самого теплого месяца июля равны +17 °С, самого холодного января – -26 °С. Средняя годовая температура воздуха отрицательная и варьирует от -2,7 до -3,2 °С. Самые низкие температуры зимой отмечаются в пониженных формах рельефа, главным образом в долинах рек Иды, Осы, Обусы, Куды. Сюда зимой при антициклональной погоде «стекает» тяжелый холодный

воздух, образуя «озёра холода». Осадков выпадает 250…410 мм в год, их распределение неравномерное. На теплый период года (апрель–октябрь) приходится 85 % от годовой суммы, на холодный (ноябрь–март) – только 15 %, что ограничивает возможность накопления влаги посредством талых снеговых вод. Неравномерное внутригодовое распределение атмосферных осадков усугубляется контрастностью их выпадения из года в год. Коэффициент увлажнения в степных ландшафтах составляет 0,6…0,8 (увлажнение недостаточное), в лесостепи и подтайге – до 1,1…1,4 [13].

Именно характер рельефа и континентальность климата в Приангарье определили контрастность и сложность структуры растительного и почвенного покрова. Ландшафты региона относятся к семиаридным североазиатским южно-сибирским. Лугово-степные и степные геосистемы встречаются среди геосистем «ангарской» сосновой подтайги, для которой характерна травянистость наземного покрова и остепнение. Степи занимают незначительную площадь, по сравнению с лесами. Они представлены разнотравно-крупнозлаковыми, в сочетании с мелкодерновинно-злаковыми и низинными галофитно-луговыми, степями, березняками и кустарниками [15].

Иволгинский природный район расположен в Иволгинской котловине, занимающей северную окраину Селенгинского среднегорья и ограниченной низкогорными отрогами хребта Хамар-Дабан. Основными почвообразующими породами днища котловины выступают древнеозерные и современные аллювиальные отложения. Среди элювиально-делювиальных распространены преимущественно песчаные и супесчаные отложения гранитной группы [16].

Климат в районе исследования экстремально континентальный. Среднегодовые температуры отрицательные (-1,1 °С), безморозный период составляет 70…100 дней, сумма температур выше +10 °С – 1600…1800 °С. Среднегодовое количество осадков находится на уровне 234 мм. Характер их выпадения неравномерный: в зимний период – в среднем 7 % от годовой суммы, а во второй половине лета – 67…70 % [14].

Горно-котловинный характер рельефа, неоднородность литологического состава подстилающих пород, различные типы водно-температурных режимов обусловливают формирование разнообразного почвенно-растительного покрова. На сухостепных ландшафтах, занимающих предгорную часть хребта Хамар-Дабан, под мятликово-ковыльными, разнотравно-ковыльными, лапчатково-мелкозлаковыми, полынно-злаковыми и другими сообществами формируются каштановые почвы. В пределах зоны каштановых почв на пологих шлейфах склонов, верхних речных террасах, межсопочных понижениях, то есть в местах с повышенным увлажнением вследствие временного скопления поверхностного стока, а также внутрипочвенного бокового стока или грунтовых вод, формируются лугово-каштановые почвы. В днище котловины смена типов рельефа, неоднородный гранулометрический и химический состав аллювиальных отложений, уровень и химизм грунтовых вод обусловливают значительную пространственную неоднородность почвенно-растительного покрова. Почвенный покров в пойме представлен аллювиальными болотными, лугово-болотными, луговыми, дерновыми, лугово-дерновыми почвами в сочетании с гидроморфными солончаками и солонцами [16].

Методика качественной оценки почв агроландшафтов на основе ПЭИ позволила оценить плодородие почв при соответствующем уровне земледелия [1]. Почвенно-экологический индекс отражает в относительных величинах комплекс агроэкологических условий, а с использованием дополнительных коэффициентов возможно определение его изменения в зависимости от типа и свойств почв, а также климата [8].

Почвенно-экологическую оценку земель агроландшафтов в последние годы применяют при комплексном мониторинге плодородия почв земель сельскохозяйственных угодий. Эта методика фактически утверждена на правительственном уровне. Расчет почвенно-экологических индексов для земель сельскохозяйственного назначения проводили по формуле [1]:

$$ПЭИ = \underbrace{12{,}5\cdot(2-V)\cdot П\cdot Дс}_{ПЭИп}\cdot\underbrace{А}_{ПЭИа}\cdot\underbrace{\frac{(\Sigma t^{\circ}>10^{\circ}C)\cdot(Ку-Р)}{Кк+100}}_{ПЭИк},$$

где ПЭИ – итоговый почвенно-экологический индекс;

ПЭИп = 12,5 · (2 - V) · П · Дс – почвенный индекс,

где коэффициент 12,5 вводят в формулу для приведения определенной совокупности условий к 100 единицам (баллам) почвенно-экологического индекса, 2-V – средневзвешенная плотность в метровом слое почвы, П – коэффициент, позволяющий учитывать полезный объем почв различного гранулометрического состава, Дс – поправочный коэффициент на дополнительно учитываемые свойства почв (гранулометрический состав, содержание гумуса, степень щебнистости, солонцеватости, водной и ветровой эрозии, гидроморфности);

ПЭИа = А – агрохимический индекс, который рассчитывают как произведение коэффициентов $К_{P2O5}$, $К_{K2O}$ и $К_{pHKCl}$;

ПЭИк = (Σt°>10 °С) · (Ку-Р)/(Кк+100) – климатический индекс,

где Σt >10 °С – среднегодовая сумма температур больше +10 °С; Ку – коэффициент увлажнения по Иванову; Р – поправка к коэффициенту увлажнения; Кк – коэффициент континентальности климата.

Результирующий ПЭИ определяли как произведение почвенного, климатического и агрохимического показателей.

Расчет балла бонитета почв сельскохозяйственных земель Канского природного района показал (табл. 1), что минимальные значения ПЭИ характерны для дерново-сильноподзолистой почвы (14,7 балла), максимальные – для аллювиально-луговой почвы (53,8 балла).

Дерново-подзолистые почвы занимают в структуре пашни Красноярского края 5,4 % [9]. Их ценность сильно зависит от степени оподзоленности. Разница между ПЭИ слабоподзолистой и сильноподзолистой почвами

1. ПЭИ земель сельскохозяйственного назначения Канского природного района Красноярского края

Наименование почвы, угодье	Индекс										
	почвенный (ПЭИп)			агрохимический (ПЭИа)				климатический (ПЭИк)			итоговый (ПЭИ)
	12,5·(2-V)·К·П	Дс	ПЭИп	$К_{P2O5}$	$К_{K2O}$	$КрН_{KCl}$	ПЭИа	Ку-Р	Кк	ПЭИк	
Дерново-сильноподзолистая, пашня	5,42	0,86	4,64	0,87	0,87	0,95	0,72	0,90	200	4,39	14,7
Дерново-слабоподзолистая, пашня	5,42	0,81	4,39	0,94	0,94	1,00	0,88	0,90	200	5,30	20,5
Светло-серая лесная, пашня	5,80	0,90	5,20	0,95	0,96	1,00	0,91	0,85	200	4,33	20,5
Серая лесная, пашня	6,10	0,98	5,96	1,00	1,00	1,10	1,10	0,85	200	4,33	28,4
Темно-серая лесная, пашня	7,03	1,15	8,09	1,08	1,06	1,04	1,19	0,85	200	4,47	43,0
Чернозем оподзоленный, пашня	7,82	1,10	8,64	1,08	1,06	1,00	1,14	0,85	200	4,60	45,3
Чернозем выщелоченный, пашня	8,26	1,10	9,12	1,08	1,06	1,03	1,18	0,85	200	4,67	50,3
Чернозем обыкновенный, пашня	7,82	1,21	9,45	1,06	1,04	1,00	1,10	0,81	200	4,50	46,8
Чернозем южный, пашня	6,90	1,05	7,22	1,06	1,04	1,00	1,10	0,81	200	4,62	36,7
Лугово-черноземная, пашня	7,67	1,22	9,38	1,08	1,06	1,03	1,18	0,85	200	4,53	50,1
Аллювиально-луговая, пашня	8,30	1,22	10,10	1,08	1,06	1,00	1,14	0,85	200	4,67	53,8

2. ПЭИ земель сельскохозяйственного назначения Иркутско-Черемховского природного района Иркутской области

Наименование почвы, угодье	Индекс										
	почвенный (ПЭИп)			агрохимический (ПЭИа)				климатический (ПЭИк)			итоговый (ПЭИ)
	12,5·(2-V)·К·П	Дс	ПЭИп	$К_{P2O5}$	$К_{K2O}$	$КрН_{KCl}$	ПЭИа	Ку-Р	Кк	ПЭИк	
Дерново-подзолистая, залежь	4,39	0,70	3,77	1,06	1,06	1,00	1,12	0,90	200	4,40	15,1
Дерновая лесная, пашня	4,92	0,70	3,44	1,05	1,00	1,05	1,10	0,90	200	5,22	19,7
Дерново-карбонатная, пашня	5,70	0,78	4,44	1,05	0,96	1,10	1,11	0,80	200	4,14	20,4
Серая лесная неоподзоленная, пашня	6,73	0,61	4,11	1,05	1,00	1,05	1,10	0,87	200	4,47	20,2
Серая лесная, косимая залежь	5,07	0,85	4,61	1,00	1,00	0,94	0,94	0,90	200	5,33	23,1
Темно-серая лесная, косимая залежь	6,59	0,85	5,60	1,04	0,97	0,96	0,97	0,90	200	5,22	28,6
Темно-серая лесная глеевые, залежь	6,54	1,00	6,54	1,04	1,03	0,96	1,03	0,94	200	4,69	31,6
Чернозем выщелоченный, пашня	9,00	1,05	9,45	1,08	1,06	1,03	1,18	0,81	200	4,08	45,5
Чернозем обыкновенный, пашня	8,67	1,05	9,10	1,00	0,98	1,00	0,98	0,82	200	4,11	36,6
Чернозем обыкновенный, залежь	8,06	1,05	8,46	0,97	0,98	1,00	0,95	0,82	200	4,11	33,0
Чернозем южный, пашня	7,67	1,00	7,67	0,97	0,98	1,00	0,95	0,78	200	4,29	31,3
Лугово-черноземная, пашня	9,26	1,05	9,72	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	200	3,47	32,1
Луговая солончаковатая, пастбище	7,06	0,85	6,00	0,93	0,95	1,00	0,88	0,90	200	5,86	30,9
Луговая осолоделая, пастбище	5,40	0,63	3,40	0,91	0,93	1,03	0,87	0,90	200	5,85	17,3
Лугово-болотная засоленная, пастбище	5,08	0,53	5,01	0,93	0,95	1,00	0,88	0,73	200	3,50	15,4
Аллювиально-дерновая, пашня	6,90	0,74	5,11	0,87	1,08	1,1	1,03	1,05	200	5,48	28,8
Аллювиально-луговая, пашня	9,57	1,00	9,57	0,97	1,00	0,96	0,93	0,67	200	3,47	30,9

составляла 6 баллов, а средняя его величина варьировала в пределах 17…18 баллов.

Величина ПЭИ серых лесных почв возрастала от светло-серой (20,5 балла) к серой (28,4 балла) и темно-серой (43,0 балла). Величина ПЭИ последних находилась на уровне, близком к ПЭИ черноземов оподзоленного и обыкновенного.

Почвенно-экологические индексы широко используемых в сельском хозяйстве Красноярского края черноземов выщелоченных и обыкновенных составили 50,3 и 46,8 балла. Это почти вдвое ниже, чем у чернозема типичного Краснодарского края.

Значительной ценностью обладают интразональные почвы – лугово-черноземные и аллювиальные, на долю которых в структуре пашни приходится 6,4 % [10]. Они обладают высокой биогенностью и хорошо увлажнены. В пойменных ландшафтах благодаря отепляющему влиянию рек формируется особый благоприятный микроклимат, что позволяет использовать их для закладки садов и возделывания овощных и бахчевых культур. Величина ПЭИ лугово-черноземной почвы сопоставима с ценностью чернозема выщелоченного. Аллювиальные почвы на территории края имеют ограниченное распространение, они очень уязвимы в экологическом отношении и поэтому нуждаются в охране и контроле за использованием.

В почвенном покрове Иркутско-Черемховской равнины присутствуют почвы различного уровня потенциального и эффективного плодородия (табл. 2). Низкоплодородные дерново-подзолистые почвы, которые включали в состав сельскохозяйственных угодий по мере вырубки лесов и раскорчёвки, занимают на ее территории около 2,0 % пашни [13]. При расчете почвенно-экологического индекса этот тип почвы характеризовался наименьшей величиной – 15,1 балла.

Наибольшая площадь пашни в Иркутской области расположена на серых лесных (47 %) и дерново-карбонатных (36,0 %) почвах [15]. Однако в пределах этих двух типов наблюдается существенное разнообразие их свойств. Так, ПЭИ серой лесной неоподзоленной и дерново-карбонатной почвы находится на уровне 20 баллов, а темно-серой лесной – на 10 баллов больше. Кроме двух названных типов почвенный покров пашни представлен черноземами (7,0 %) и интразональными почвами (10,0 %), обладающими высоким уровнем плодородия – лугово-черноземные, луговые и аллювиальные [13].

Максимальная величина ПЭИ на территории Иркутско-Черемховской равнины отмечена у чернозема выщелоченного (45,5 балла), у чернозема обыкновенного и южного она на 10…12 баллов ниже. В интразональных агропочвах ПЭИ варьирует от 15,4 балла у лугово-болотной почвы до 32,1 балла у лугово-черноземной. При этом они заметно беднее аналогов в Красноярском крае.

Расчет почвенно-экологического индекса сельскохозяйственных земель Бурятии, на примере Иволгинской котловины, показал низкую устойчивость агропочв региона к антропогенному воздействию, по сравнению с Красноярским краем и Иркутской областью (табл. 3).

Самые низкие величины ПЭИ отмечены у каштановых и дерново-подзолистых почв (11,4 и 14,7 балла), средние – у серых и темно-серых лесных (25,1 и 27,8 балла), а также

3. ПЭИ земель сельскохозяйственного назначения Иволгинского природного района Республики Бурятия

Наименование почвы, угодье	Индекс										
	почвенный (ПЭИп)			агрохимический (ПЭИа)				климатический (ПЭИк)			итоговый (ПЭИ)
	12,5·(2-V)·К·П	Дс	ПЭИп	$К_{P2O5}$	$К_{K2O}$	$КрН_{KCl}$	ПЭИа	Ку-Р	Кк	ПЭИк	
Дерново-подзолистая, залежь	5,62	1,00	5,62	1,11	1,00	0,95	1,05	0,61	200	2,50	14,7
Дерново-карбонатная, пашня	6,30	1,14	7,18	1,15	1,11	1,15	1,47	0,61	200	2,50	26,4
Светло-серая лесная, пашня	5,98	0,85	5,08	1,10	1,00	1,05	1,16	0,90	200	4,26	25,1
Темно-серая лесная, залежь	6,59	0,85	5,60	1,11	1,03	0,96	1,10	0,90	200	4,52	27,8
Чернозем выщелоченный, пашня	8,78	1,05	9,12	1,08	1,06	1,03	1,18	0,74	200	3,66	39,4
Чернозем обыкновенный, залежь	9,14	1,05	9,60	1,08	1,05	1,00	1,13	0,47	200	3,01	32,6
Чернозем южный, залежь	8,13	1,05	8,54	1,08	1,04	1,00	1,12	0,47	200	3,01	28,8
Каштановая, пастбище	4,78	0,87	4,16	1,03	1,00	1,00	1,03	0,61	200	2,65	11,4
Аллювиально-дерновая, пастбище	8,71	0,91	7,93	1,03	1,04	1,00	1,07	0,65	200	2,98	25,3
Аллювиально-луговая, пастбище, сенокос	9,55	1,05	10,03	1,08	1,06	0,96	1,09	0,61	200	3,01	32,9
Лугово-болотная, пашня	8,36	1,03	8,61	1,03	0,98	0,91	0,92	0,91	200	3,99	31,6

интразональных почв (аллювиально-дерновые, аллювиально-луговые и лугово-болотные) – от 25,3 до 32,9 баллов. Максимальные величины ПЭИ на обследованной территории характерны для чернозема выщелоченного (39,4 балла). У чернозема обыкновенного и южного он был равен 32,6 и 28,8 балла соответственно.

В целом, величина итогового ПЭИ в почвах земель сельскохозяйственного назначения Красноярского края (14,7…53,8 балла) в большей степени определяется почвенным и агрохимическим индексами. Значения климатического показателя варьируют слабо и колеблются в пределах 4,3…5,3 балла.

В агропочвах Иркутской области отмечено снижение всех индексов, а также итогового ПЭИ, по сравнению с Красноярским краем, на 1,0…13,0 баллов. Важное влияние на его величину оказывает климатический индекс, который варьирует от 3,5 до 5,9 баллов. Территория области испытывает недостаток увлажнения, что связано с нахождением земледельческой части области в аридной тени хребтов Восточного Саяна.

Лимитирующими факторами, ограничивающими продуктивность агропочв Бурятии, выступают недостаточное количество осадков и тепла. Величины климатического, почвенного, агрохимического индексов оказались самыми низкими, по сравнению с агропочвами Красноярского края и Иркутской области. Итоговый индекс равен 11,4…39,4 балла.

Расчет почвенно-экологического индекса сельскохозяйственных земель Красноярского края, Иркутской области и Республики Бурятия показал, что его величина в 2…6 раз ниже, чем у черноземов типичных Краснодарского края, балл бонитета которых приближается к 100.

Литература.

1. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л. Л. Шишов, Д. Н. Дурманов, И. И. Карманов и др. М.: Агропромиздат,1991. 304 с.

2. Иванов А. Л., Савин И. Ю., Столбовой В. С. Качество почв России для сельскохозяйственного использования // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 6. С. 41–45.

3. Кирюшин В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. № 2. 2021. С. 3–7. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10201.

4. Оценка агрочерноземов Сибири на основе современных подходов / А. А. Шпедт, Ю. В. Аксенова, В. Н. Жуланова и др. // Земледелие. № 4. 2019. С. 8–13. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10402.

5. Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель / Э. Н. Молчанов, И. Ю. Савин, А. С. Яковлев и др. // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1394–1406.

6. Mehra M., Singh C. K. Spatial analysis of soil resources in the Mewat district in the semiarid regions of Haryana, India // Environment, Development and Sustainability. 2018. Vol. 20. No. 2. P. 661–680. doi: 10.1007/s10668-016-9904-6.

7. Musakwa W. Identifying land suitable for agricultural land reform using GIS-MCDA in South Africa // Environment, Development and Sustainability. 2018. Vol. 20. No. 5. P. 2281–2299. doi: 10.1007/s10668-017-9989-6.

8. Применение и верификация почвенно-экологического индекса при оценке структур почвенного покрова пахотных угодий / Д. С. Булаков, Н. П. Сорокина, И. И. Карманов и др. // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1367–11376.

9. Крупкин П. И. Черноземы Красноярского края: Монография. Красноярск: Издательство КрасГУ, 2002. 332 с.

10. Авдюкова Т. В., Хруцкий С. А. Состояние плодородия почв пашни восточной зоны Красноярского края // Земледелие. 2017. № 1. С. 25–29.

11. Сергеев А. П., Липатникова Т. Я., Горяева Е. В. Состояние плодородия пахотных почв южной зоны Красноярского края // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 17–21.

12. Алхименко Р. В. Мониторинг состояние пахотных почв в западном и центральном территориальных округах Красноярского края // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 10–14.

13. Козлова А. А., Белозерцева И. А., Лопатина Д. Н. Почвы Южного Предбайкалья: разнообразие и закономерности распространения // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 103–114.

14. Qualitative assessment of the soils of agricultural landscapes in Eastern Siberia / A. A. Kozlova, I. A. Belozertseva, N. I. Granina, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Irkutsk, 08–10 сентября 2020 года. Irkutsk, 2021. P. 012015. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/629/1/012015 (дата обращения: 02.11.2021). doi: 10.1088/1755-1315/629/1/012015.

15. Бутырин М. В., Штанцова В. В. Динамика основных показателей плодородия пахотных почв Иркутской области // Земледелие. 2017. № 4. С. 9–14.

16. Разнообразие почв и почвенные ресурсы Центральной экологической зоны Байкальской природной территории (в границах Республики Бурятия) / Л. Л. Убугунов, И. А. Белозерцева, В. И. Убугунова и др. // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 2 (166). С. 69–78.

Soil and ecological assessment of agricultural lands in the Krasnoyarsk Territory, Irkutsk region, and the Republic of Buryatia

A. A. Spedt[1,2], A. A. Kozlova[3], I. A. Belozertseva[3,4], N. I. Granina[3], O. G. Lopatovskaya[3], N. D. Kiseleva[3], S. L. Kuklina[3], N. A. Martynova[3], D. N. Lopatina[4]

[1]Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center», Siberian branch, Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

[2]Siberian Federal University, prosp. Svobodnyi, 79, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

[3]Irkutsk State University, ul. Karla Marksa, 1, Irkutsk, 664003, Russian Federation

[4]Sochava Institute of Geography, Siberian branch, Russian Academy of Sciences, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russian Federation

Abstract. *We assessed agricultural lands in a number of regions of Eastern Siberia: the Krasnoyarsk Territory, the Irkutsk region, the Republic of Buryatia. Their southern part is the most developed since there are quite favourable natural conditions for human habitation and agriculture. At the same time, the sharp continentality of the climate, low heat and moisture supply cause the development of soils with a thin humus horizon, which, under conditions of intensive agriculture, significantly reduces their resistance to agrogenic impact. We used the methodology for the qualitative assessment of soils, developed at the Dokuchaev Soil Institute with the calculation of the soil-ecological index. It includes a quantitative reflection of the natural resource potential of agricultural lands, expressed in points from 1 to 100, while the maximum 100-point index belongs to typical chernozems of the Krasnodar Territory. According to calculations, the value of this indicator in the Krasnoyarsk Territory was 14.7–53.8 points, in the Irkutsk region – 15.1–45.5 points, in the Republic of Buryatia – 14.7–39.4 points. The value of the final soil-ecological index of agricultural lands in the Krasnoyarsk Territory is mainly due to the soil soil-ecological index and the agrochemical soil-ecological index, and to a lesser extent, the climatic soil-ecological index. In the Irkutsk region, the values of these indicators and the final soil-ecological index are noticeably lower than in similar agricultural soils of the Krasnoyarsk Territory. The soils of the agrolandscapes of Buryatia are distinguished by the lowest values of soil, agrochemical and climatic soil-ecological indices, in comparison with other regions considered.*

Keywords: *agricultural lands; assessment of soils of agricultural landscapes; soil index; agrochemical index; climatic index; soil-ecological index.*

Author Details: *A. A. Shpedt, D. Sc. (Agr.), director, prof., (e-mail: shpedtaleksandr@rambler.ru); A. A. Kozlova, D. Sc. (Biol.), assoc. prof. (e-mail: allak2008@mail.ru); I. A. Belozertseva, Cand. Sc. (Geogr.), assoc. prof., head of laboratory (e-mail: belozia@mail.ru); N. I. Granina, Cand. Sc. (Biol.), head of department (e-mail: granina_n@list.ru); O. G. Lopatovskaya, D. Sc. (Biol.), prof. (e-mail: lopatovs@gmail.com); N. D. Kiseleva, senior lecturer (e-mail: nata_kis71@list.ru); S. L. Kuklina, Cand. Sc. (Biol.), assoc. prof. (e-mail: kukl_swet@mail.ru); N. A. Martynova, senior lecturer (e-mail: natamart-irk@yandex.ru); D. N. Lopatina, Cand. Sc. (Geogr.) research fellow (e-mail: daryaneu@mail.ru).*

For citation: *Shpedt AA, Kozlova AA, Belozertseva IA, et al. [Soil and ecological assessment of agricultural lands in the Krasnoyarsk Territory, Irkutsk region, and the Republic of Buryatia]. Zemledelie. 2022; (1):9-13. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-9-13.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-14-19
УДК 631.582.584:633.2.3

Биоэнергетическая эффективность фитоагроценозов при возделывании многолетних бобово-злаковых трав*

Л. М. КОЗЛОВА[1], доктор сельскохозяйственных наук, зав. отделом (e-mail: zemledel_niish@mail.ru)
А. К. СВЕЧНИКОВ[2], научный сотрудник (e-mail: koalder@yandex.ru)
[1]Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, ул. Ленина, 166а, Киров, 610007, Российская Федерация
[2]Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФАНЦ Северо-Востока, ул. Победы, 10, пос. Руэм, Медведевский р-н, Республика Марий Эл, 425231, Российская Федерация

Исследования проводили с целью сравнительной оценки энергетической эффективности возделывания кормовых агрофитоценозов с различной насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травосмесями и азотными удобрениями. Работу выполняли в 2013–2018 гг. в Республике Марий Эл. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: степень насыщения агрофитоценоза многолетними бобово-злаковыми травосмесями (фактор А) – 16,7 %, 33,3 %, 50,0 %, 100,0 %; минеральные удобрения (фактор В) – $P_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. С насыщением кормовых агрофитоценозов на каждые 16,7 % многолетними бобово-злаковыми травами происходило увеличение коэффициента энергетической эффективности производства кормов на 0,46, вплоть до 3,49 при 100 %-ном насыщении. Одновременно энергоемкость получения 1 кормовой единицы, напротив, уменьшалась на 1,5 МДж, сбора 1 кг протеина – в среднем на 14,0 МДж. По мере насыщения многолетними травами затраты совокупной энергии на фоне применения $P_{60}K_{60}$ сокращались на 5 ГДж/га, на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ – на 9 ГДж/га. В результате самые лучшие в опыте биоэнергетические показатели отмечены в агрофитоценозе длительного использования козлятнико-кострецовой травосмеси. Поля с одно-двулетними культурами были самыми энергоёмкими (более 17,7 ГДж/га за год возделывания). Применение азотных удобрений повышало величину этого показателя ещё на 7,2 ГДж/га. На фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ совокупные затраты на возделывание ячменя увеличивались в среднем на 40,7 %, одно-двулетних трав – на 29,5 %. Тем не менее, благодаря росту продуктивности возделываемых культур, они полностью погашались равнозначным ростом коэффициентов энергетической эффективности, а также уменьшением энергоёмкости кормовых единиц и сырого протеина.

Ключевые слова: *кормовые севообороты, минеральный азот, энергозатраты, КЭЭ, энергоёмкость, сырой протеин, кормовые единицы.*

Для цитирования: *Козлова Л. М., Свечников А. К. Биоэнергетическая эффективность фитоагроценозов при возделывании многолетних бобово-злаковых трав // Земледелие. 2022. №1. С. 14–19. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-14-19.*

Главным приоритетом развития кормопроизводства признано низкозатратное получение кормов с высокой концентрацией энергии и протеинов [1]. При этом ряд авторов считают, что энергетические методы наиболее объективны при оценке эффективности сельскохозяйственного производства. Стоимостные показатели в условиях рыночной экономики требуют сведения к сопоставимым ценам, сильно зависят от изменения курса валют и инфляции. Они также неудобны при учёте нетоварной продукции, что бывает при производстве кормов для внутрихозяйственных нужд. В результате энергетическая оценка позволяет проводить сравнение технологий независимо от места, времени и ценовых соотношений [2, 3, 4].

Системы земледелия и севообороты выступают основными определяющими факторами энергоэффективности в растениеводстве [5, 6, 7]. Важный элемент снижения затрат на корма – использование многолетних бобовых трав, которые, кроме того, служат дешевым источником симбиотического азота [8, 9, 10].

Новосёловым М. Ю. и др. [11] установлено, что энергозатраты при возделывании многолетних бобовых и бобово-злаковых трав обычно составляют около 14...16 ГДж/га, при заготовке – 22...24 ГДж/га. При выращивании однолетних трав они возрастают в 2,0...2,5 раза, пропашных культур на кормовые цели – в 3,0...3,5 раза. Для зерновых культур эти затраты составляют 16...19 ГДж/га [12]. Согласно результатам других исследователей [13, 14], энергозатраты на интенсивное возделывание мятликовых агрофитоценозов выше, чем для бобово-злаковых трав, в 1,5...2,5 раза. Каждый год продления использования трав ведёт к дальнейшему снижению затрат [15] и повышению коэффициента энергетической эффективности (КЭЭ) [1, 16].

Травянозерновые севообороты способны обеспечивать наиболее близкое к оптимальному энергетическое протеиновое соотношение в кормах и получение до 6 т молока с 1 га угодий [17]. При этом энергетические затраты не превышают 3,87 ГДж на 1 т продукции. Авторы этих исследований считают, что в Нечерноземье доля многолетних трав в структуре кормовых угодий должна превышать 70 % и предпочтение необходимо отдавать травопольным и прифермским кормовым севооборотам.

В условиях лесостепных агроландшафтов Челябинской области [18] 10-польные зернотравяные севообороты, благодаря многолетним бобовым травам, обеспечивали наиболее близкий к оптимальному энергоматериальный баланс в системе почва – растение. КЭЭ в таких севооборотах составлял 2,8...3,7, а 1 ГДж энергозатрат обеспечивал производство до 0,17...0,19 т зерна. В длительном (30 лет) полевом опыте Белгородского ФАНЦ РАН у зернотравянопропашного севооборота, структура которого насыщена многолетними бобовыми травами на 40 %, КЭЭ равнялся 4,7, что было на 22,3 % выше, чем у зернопаропропашного и зернопропашного севооборотов [19]. В Тульской области [20] увеличение в севообороте доли многолетних трав с 25 до 43 % приводило к повышению выхода обменной энергии в 2,9 раза (на 85,7 ГДж/ га), снижению затрат энергии на производство 1 кг сухого вещества в 2,2 раза (на 3,02 МДж), 1 корм.ед. – в 1,9 раза (на 2,13 МДж), КЭЭ при этом увеличивался в 2,5 раза. В условиях Канады в 4-польном севообороте с двумя полями люцерны в среднем за 14 лет КЭЭ возделывания картофеля был на 10 % выше, чем в других севооборотах [21].

Минеральные, особенно азотные, удобрения и дизельное топливо – наиболее энергоемкие ресурсы в сельскохозяйственном производстве [7, 22, 23]. Так, в распространённых короткоротационных севооборотах Индии на использование удобрений приходится в среднем 54,6 % потребляемой энергии [24]. В условиях штата Айова (США) азотные удобрения среди статей энергорасходов в звене севооборота кукуруза-соя составляли в среднем 58 %, а в трёх- и четырехпольных травянозерновых севооборотах с долей многолетних

* *Исследования выполнены в соответствие с Государственным заданием (тема № 0528-2019-0091).*

бобовых трав 25 и 33 % – 16 % и 22 % соответственно [25]. В Центральном Нечерноземье Российской Федерации КЭЭ при семилетнем возделывании многолетних бобово-злаковых трав на фоне внесения $N_{130}P_{50}K_{130}$ в среднем за 7 лет был в 2,0...2,5 раза меньше, чем на фоне $P_{50}K_{130}$ (11,1...10,6) [26]. В опытах Семешкина П. С. и др. [27] продуктивность, энергетическая и экономическая эффективность севооборотов при снижении доз минеральных удобрений с $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{20}P_{20}K_{20}$ возрастала с увеличением в них доли бобовых культур с 30 до 40 % и выше.

В условиях Республики Марий Эл биоэнергетическую эффективность возделывания многолетних кормовых агрофитоценозов в зависимости от насыщенности их структуры многолетними бобово-злаковыми травами и уровня внесения азотных удобрений ранее не оценивали.

Цель исследований – сравнительная оценка энергетической эффективности кормовых агрофитоценозов с различной насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травосмесями и минеральными удобрениями в условиях Республики Марий Эл.

Работу проводили на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФАНЦ Северо-Востока. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов:

доля многолетних бобово-злаковых трав в агрофитоценозе (фактор А):

16,7 % – смесь из вики (*Vicia sativa* L., сорт Вера) и овса (*Avena sativa* L., сорт Буланый) с подсевом клевера (*Trifolium pretense* L., сорт Мартум), люцерны (*Medicago varia* Mart., сорт Лада) и тимофеевки (*Phleum pratense* L., сорт Вик 85); многолетние травы 1 года пользования; озимая рожь (*Secale cereale* L., Татьяна), поукосно горчица белая (*Sinapis alba* L., Белянка); ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L., сорт Владимир) на зернофураж; вико-овсяная смесь, поукосно горчица белая; смесь из вики, овса и подсолнечника (*Helianthus annuus* L., сорт Скороспелый 87);

33,3 % – смесь из вики и овса с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы 1 года пользования; многолетние травы 2 года пользования; озимая рожь, поукосно горчица белая; ячмень яровой на зернофураж; вико-овсяная смесь, поукосно горчица белая;

50,0 % – смесь из вики и овса с подсевом клевера, люцерны и тимофеевки; многолетние травы 1 года пользования; многолетние травы 2 года пользования; многолетние травы 3 года пользования; озимая рожь, поукосно горчица белая; ячмень яровой на зернофураж;

100,0 % – бессменное возделывание (12...17 годы использования) травосмеси из козлятника (*Galega orientalis* Lam., сорт Гале) и костреца безостого (*Bromus inermis* Leyss., сорт Пензенский 1);

минеральные удобрения (фактор В) – $P_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Подкормку многолетних бобово-злаковых смесей (в годы их использования) азотными удобрениями не проводили.

Севообороты развёрнуты во времени и в пространстве. Расположение вариантов систематическое в четырёхкратной повторности. Площадь делянок общая – 36 м², в том числе учётная – 18 м².

Учёт урожая зелёной массы осуществляли согласно методическим рекомендациям (*Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новосёлов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов и др. М.: Россельхозакадемия, 1997. 156 с.*). Биоэнергетическую оценку агрофитоценозов проводили по методике МарГУ (*Марьин Г. С., Алметов Н. С., Свинина О. Г. Биоэнергетическая оценка фитосанитарного состояния агроэкосистем. Йошкар-Ола: МарИПКА, 1999. 39 с.*). Для расчёта выхода обменной энергии и кормовых единиц с урожаем содержание общего азота определяли по Кьельдалю (ГОСТ 13496), клетчатки – по Гененбергу-Штомману (ГОСТ 31675-2012), золы – путём сухого озоления (ГОСТ 26226–84), сырого жира – по ГОСТ 13496.15-85, калия и фосфора – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207–84). Исследования выполняли согласно методике полевого опыта, статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с уровнем значимости 5 % (*Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.*), расчёты – в Microsoft Office Excel 2013.

При составлении технологических карт возделывания культур для энергетической оценки использованы такие машины, как ДТ-75М, МТЗ-82, ГАЗ-53Б, комбайны СК-6 и Е-281, протравливатель ПСШ-5, погрузчики ПФ-0,75, ЗПС-60, УЗСА-40, сеялки СЗТ-5,4, СЗ-3,6, сельскохозяйственные орудия ЛДГ-15, ПЛН-5-35, АКШ-6Г-01, БЗСС-1,0, РУМ-5А, СП-11 и др.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая слабокислая ($pH_{KCl} \approx 5,1$ ед.). Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) в слое почвы 0...20 см классифицировалось как очень высокое (в среднем 900 мг/кг), подвижного калия – высокое (в среднем 180 мг/кг), гумуса (по Тюрину) – низкое (в среднем 2,2 %).

За шесть лет исследований каждый третий год вегетации культур был засушливым и жарким [28]. В 2017 г. отмечали избыточную влажность и пониженную температуру. Больше всего угнетались поукосная горчица и многолетние травы в севооборотах спустя несколько недель после весеннего отрастания. Самые неудовлетворительные условия для культур сложились в 2016 г., когда гидротермический коэффициент для поукосной горчицы составлял всего 0,20.

В наших опытах применение аммиачной селитры при возделывании кормовых культур выступало самой энергозатратной операцией: по сравнению с вариантами, где ее в севооборотах не вносили, совокупные затраты были выше в среднем на 29 ГДж/га, или

Биоэнергетическая эффективность возделывания культур в агрофитоценозах в зависимости от их насыщенности многолетними травами и уровня применения минеральных удобрений (2013–2018 гг.)

Насыщенность многолетними травами, % (фактор А)	Минеральные удобрения (фактор В)			$НСР_{05}$ для факторов
	$P_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	среднее	
Затраты совокупной энергии, ГДж/га				
16,7	141	173	157	А=5 В, АВ =3 частных различий =7
33,3	125	155	140	
50,0	121	145	133	
100,0	113	125	119	
Среднее	125	150	137	
Энергообеспеченность сырого протеина, МДж/кг				
16,7	55,0	54,2	54,6	А=3,5 В, АВ=2,2 частных различий =4,4
33,3	40,0	39,0	39,5	
50,0	26,8	26,6	26,7	
100,0	17,3	14,9	16,1	
Среднее	34,8	33,7	34,2	
Энергообеспеченность к.ед., МДж/корм. ед.				
16,7	10,7	11,1	10,9	А=0,8 В, АВ=0,5 частных различий =1,0
33,3	10,0	10,3	10,2	
50,0	6,6	6,8	6,7	
100,0	4,1	3,6	3,9	
Среднее	7,9	8,0	7,9	
КЭЭ				
16,7	1,31	1,26	1,29	А=0,25 В, АВ=0,16 частных различий =0,31
33,3	1,52	1,42	1,47	
50,0	2,27	2,12	2,20	
100,0	3,29	3,69	3,49	
Среднее	2,10	2,12	2,11	

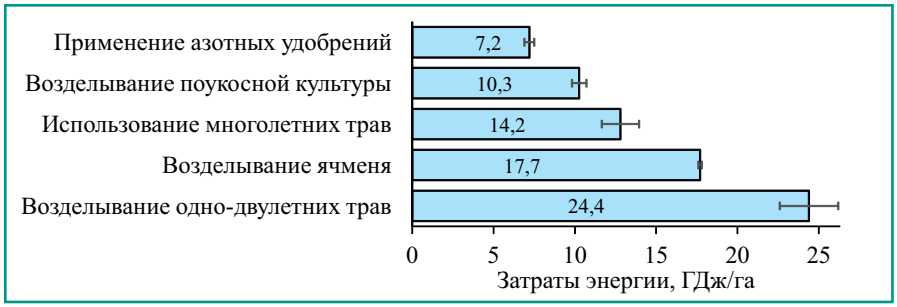


Рис. 1. *Среднегодовые энергетические затраты на применение азотных удобрений и возделывание культур (2013–2018 гг.).*

на 22,2 % (см. табл.). При сравнении севооборотов со всеми агрофитоценозами, в которых не использовали азотные удобрения, разница достигала уже 33 ГДж/га, или 26,5 %.

В результате применение удобрений в опыте оказало наибольшее влияние на энергетические затраты на возделывание культур. При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ суммарные расходы энергоресурсов за 2013–2018 гг. (в среднем 150 ГДж/га) превосходили вариант с фосфорно-калийным фоном в среднем на 25 ГДж/га, или на 20,0 %. В целом издержки, связанные с применением азотных удобрений, в среднем только на 3,1 ГДж/га (30,0 %) меньше, чем общие затраты на возделывание наименее энергозатратной культуры – поукосного посева горчицы (рис. 1). В итоге, внесение минерального азота повышало затраты на 29,5...69,9 % в зависимости от возделываемых культур в изучаемых агрофитоценозах.

Сокращение длительности возделывания клеверо-люцерно-тимофеечной смеси (КЛТ) в течение ротации увеличивало число обработок почвы, количество внесённых азотных удобрений и других мероприятий. В результате возрастало число полей с одно-двулетними травами, которые в сумме с поукосной культурой (24,4 + 10,3 = 34,7 ГДж/га в среднем за год) были самыми энергоёмкими и приводили к повышению производственных затрат в севооборотах. Так, с переходом от длительного возделывания трав к севообороту с 50 %-ным насыщением многолетними бобово-злаковыми травами потребление энергоресурсов повысилось на 11,8 %. Со снижением срока использования КЛТ с трёх до двух лет подобные издержки возрастали на 5,3 %, с двух до одного года – ещё на 12,1 %. Уровень экономии энергии при возделывании козлятнико-кострецовой травосмеси был наибольшим, по сравнению с контролем, и составил 38 ГДж/га, или 31,9 %. При выборе в пользу севооборота, максимально насыщенного бобово-злаковыми травами, экономия была равна только 24 ГДж/га, или 18,1 %, относительно контроля. Это в 1,6 раза меньше, чем при длительном выращивании трав.

В целом, увеличение общих энергорасходов при сокращении числа полей с многолетними бобово-злаковыми травами проявлялось сильнее на фоне азотных удобрений. Так, при использовании фосфорно-калийных удобрений различия в энергозатратах между севооборотами с двумя и тремя годами использования многолетних трав находились в пределах ошибки опыта, тогда как на фоне полного минерального удобрения в севообороте с двумя полями трав, в сравнении с тремя, совокупные энергозатраты увеличивались со 145 до 155 ГДж/га, или на 10 ГДж/га (6,9 %), а с одним полем – уже до 173 ГДж/га, или на 28 ГДж/га (19,3 %).

Коэффициент отрицательной регрессии в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($b_{ух}$ = -53,7) выражен в 1,85 раза сильнее (рис. 2), чем в варианте $P_{60}K_{60}$ ($b_{ух}$ = -29,0). К тому же, влияние полного минерального удобрения ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на совокупные энергозатраты (85,2±4,9 %) по шкале Чеддока характеризуется как весьма высокое, а $P_{60}K_{60}$ (70,4±9,7 %) – как высокое.

Установленные функции (см. рис. 2) позволяют спрогнозировать величину этих издержек с 5 %-ной значимостью при полном отсутствии многолетних бобово-злаковых трав в структуре изученных севооборотов. В нашем случае они составят при длительном применении азотных удобрений на фоне фосфоро-калийных 176±15 ГДж/га, а без азотных удобрений – 139±13 ГДж/га, что на 37±28 ГДж/га меньше. Согласно уравнениям, на каждое насыщение изученных агрофитоценозов одним полем с многолетними бобово-злаковыми травами при $N_{60}P_{60}K_{60}$ приходится сокращение совокупных энергозатрат в размере 9 ГДж/га, а при $P_{60}K_{60}$ – 5 ГДж/га.

Существенные эффекты взаимодействия факторов зафиксированы только по этому показателю. Они проявились почти во всех возможных случаях, кроме одного. Достоверного снижения совокупных энергозатрат не произошло при увеличении доли травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки с 16,7 до 33,3 % и отказе от внесения минерального азота.

Наибольшее уменьшение энергетических издержек (около 19 ГДж/га, или 11,6 %) от взаимодействия факторов произошло при переходе насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами с 16,7 % и 33,3 % до 100,0 % и с отказом от применения азотных удобрений. Переход к 50 %-ной насыщенности травами позволил снизить энергозатраты только на 7 ГДж/га (4,1 %). В результате преимущество козлятнико-кострецовой травосмеси с внесением одних фосфорно-калийных удобрений по величине этого показателя сохранялось даже в сравнении с севооборотом с 50 %-ным насыщением клеверо-люцерно-тимофеечной травосмесью. То есть в севообороте с использованием многолетних трав более двух лет без применения азотных удобрений затраты были наименьшими – 121...125 ГДж/га.

Весьма высокие дополнительные затраты на возделывание культур в изучаемых севооборотах от применения азотных удобрений компенсировало равнозначное снижение энергоёмкости сбора сырого протеина. Разница между фонами удобрений была незначительной и статистически недостоверной. Сильное влияние на издержки на производство белка оказывала продолжительность использования многолетних бобово-злаковых трав. Её увеличение с двух лет до четырёх лет в севооборотах, независимо от фона удобрений, приводило к достоверному снижению

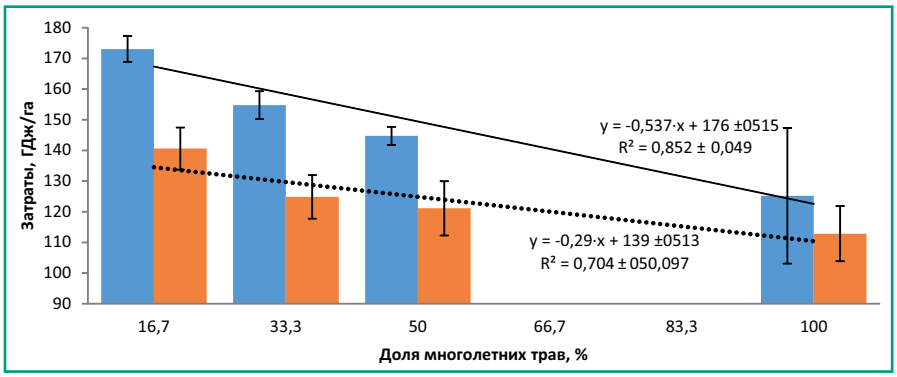


Рис. 2. *Влияние насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами на затраты совокупной энергии производства кормов (2013–2018 гг.):* ▬ *– $N_{60}P_{60}K_{60}$;* ▬ *– $P_{60}K_{60}$;* —— *– $N_{60}P_{60}K_{60}$;* ····· *– $P_{60}K_{60}$.*

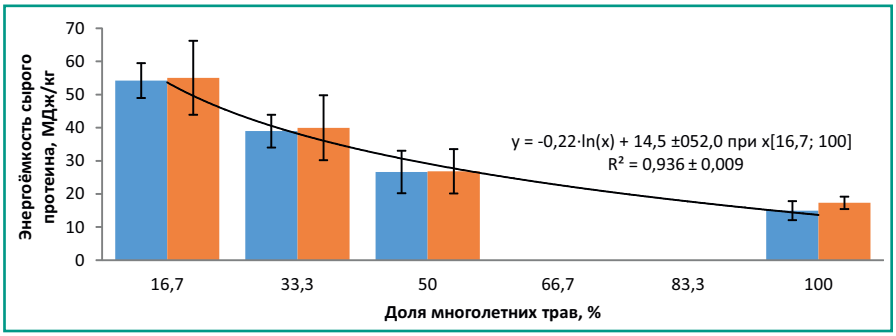


Рис. 3. *Влияние насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами на энергоёмкость производства сырого протеина (2013–2018 гг.):* ■ – $N_{60}P_{60}K_{60}$; ■ – $P_{60}K_{60}$.

окупаемости энергозатрат с 54,6 МДж на 1 кг сырого протеина в 2 раза, на 27,9 МДж/кг (рис. 3). То есть каждый год использования клеверо-люцерно-тимофеечного травостоя обеспечивал сокращение энергоёмкости 1 кг белка в среднем на 14,0 МДж/га (30,0 %). При переходе с 50 %-ной к 100 %-ной насыщенности агрофитоценоза многолетними травами энергозатраты на производство 1 кг белка уменьшились только на 10,6 МДж (39,7%).

Представленная функция позволяет описать зависимость между энергоёмкостью сырого протеина и степенью насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами. Влияние последней весьма сильное и составляет 92,7...94,5 %. Преимущество длительного использования многолетних трав над севооборотами с одним, двумя и тремя полями многолетних трав (насыщенность соответственно 16,7, 33,3 и 50,0 %), а также с четырьмя и пятью полями (расчетная насыщенность 66,7 и 83,3 %), согласно полученному уравнению с доверительным интервалом значимости 5 %, составляет соответственно 35,4...43,4, 20,2...28,2, 11,2...19,2, 4,9...12,9 и 4,4...8,0 МДж на 1 кг белка.

Энергоёмкости производства кормовой единицы также была свойственна тенденция снижения по мере увеличения степени насыщенности севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами и отсутствие существенной разницы по фонам удобрений и взаимодействию факторов. Энергозатраты на внесение азотных удобрений компенсировало соответствующее увеличение продуктивности посевов.

Биоэнергетические затраты на производство 1 кормовой единицы в севообороте с долей многолетних трав 16,7 и 33,3 % были самыми высокими, составляя 10,5 МДж (рис. 4), тогда как при 50 %-ной насыщенности они снижались на 3,8 МДж, а в варианте со 100 %-ным козлятнико-кострецовым травостоем ещё на 2,9 МДж/га, или в целом на 6,7 МДж (63,8 %). Согласно коэффициенту детерминации, сила связи между затратами энергии на формирование кормовой единицы и степенью насыщенности агрофитоценозов многолетними травами составляла 85,4...90,0 % (весьма высокая по шкале Чеддока). С сокращением доли многолетних трав в 6-польных агрофитоценозах на каждые 16,7 % (одно поле) энергоёмкость кормовой единицы увеличивалась на 1,5 МДж. Принимая во внимание доверительный интервал функции (5 %-ный уровень значимости), существенный рост этих затрат фиксировали только после уменьшения количества таких полей более, чем на два.

В результате оценки севооборотов подтверждена целесообразность возделывания в них всех изученных культур, коэффициент энергетической эффективности которого во всех вариантах превышал единицу. В среднем по опыту его величина составляла 2,11. Различий между севооборотами, в которых клеверо-люцерно-тимофеечная травосмесь используется один и два года, не выявлено – КЭЭ в этих вариантах в среднем был равен 1,38. Значительный рост величины этого показателя (в среднем на 59,4 и 59,0 %) отмечен при трёхлетнем использовании многолетних трав, а также длительном возделывании козлятника с кострецом. По сравнению с первыми двумя севооборотами, КЭЭ возделывания многолетних трав был выше в 2,6 раза, а благодаря повышенному сбору обменной энергии при внесении азотных удобрений существенного снижения КЭЭ не отмечали.

Результаты корреляционного анализа продемонстрировали весьма высокую (90,9...93,1 %) степень влияния насыщенности изученных агрофитоценозов на КЭЭ (рис. 5). Анализ уравнения линейной зависимости свидетельствует, что каждый дополнительный год выращивания многолетних бобово-злаковых трав увеличивал КЭЭ в среднем на 0,46 (на 15,2...63,0 %). Тем не менее, согласно доверительному интервалу уравнения по 5 %-ной значимости (±1,06), статистически значимого изменения КЭЭ следует ожидать только при изменении насыщенности агрофитоценозов многолетними травами на 38,4 %.

По данным ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока [1, 16], длительное возделывание многолетних трав может повышать КЭЭ на 2...3. Согласно представленной функции, при 2-летнем использовании многолетних трав, по сравнению с теоретически рассчитанным агрофитоценозом без таких культур, среднее значение КЭЭ было выше в 2,3 раза, при 3-летнем – в 2,9, при 4-летнем – в 3,5, при 5-летнем – в 4,2, при 6-летнем – в 4,8 раза. Такой рост КЭЭ в опыте произошёл, несмотря на невысокую продуктивность клеверо-люцерно-тимофеечного травостоя и козлятнико-кострецовой травосмеси в годы исследований.

В ходе сравнительной оценки биоэнергетической эффективности кормовых агрофитоценозов с различной насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травами длительное использование козлятнико-кострецовой травосмеси отмечено как лучший по всем изученным показателям вариант. В таком травостое, несмотря на очень продолжительное использование, в среднем за шесть лет КЭЭ производства зелёной массы составил 3,49, затраты энергии в расчете на 1 га – 119 ГДж, на 1 кг получаемого сырого протеина – 16,1 МДж, на 1 кормовую единицу – 3,9 МДж. Преимущество многолетних трав над изученными севооборотами по общим затратам энергии составляло 20,5 %, по КЭЭ и энергоемкости кормовой единицы и сырого протеина – 133,9 %.

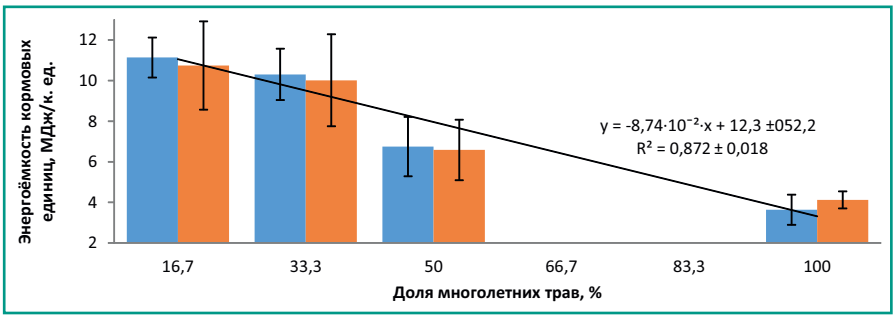


Рис. 4. *Влияние насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами на энергоёмкость производства кормовых единиц (2013–2018 гг.):* ■ – $N_{60}P_{60}K_{60}$; ■ – $P_{60}K_{60}$.

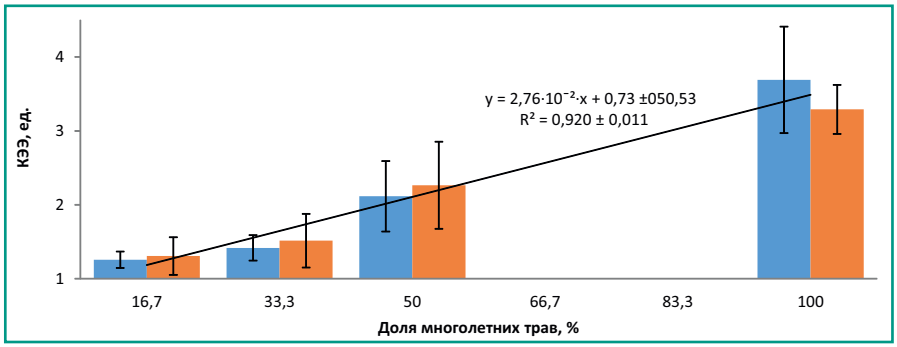


Рис. 5. Влияние насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами на коэффициент энергетической эффективности (2013–2018 гг.): ■ – $N_{60}P_{60}K_{60}$; ■ – $P_{60}K_{60}$.

Таким образом, на каждые 16,7 % насыщения агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами происходило увеличение КЭЭ производства кормов в среднем на 0,46 (до 3,49 при 100%-ном насыщении). Затраты энергии на получение 1 кормовой единицы, напротив, уменьшались в среднем на 1,5 МДж (до 3,6 МДж), на 1 кг протеина – в среднем на 14,0 МДж (до 14,5 МДж), общие затраты совокупной энергии – на фоне $P_{60}K_{60}$ на 5 ГДж/га (до 110 ГДж/га), на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ – на 9 ГДж/га (до 122 ГДж/га). В итоге, агрофитоценоз, представленный козлятнико-кострецовой травосмесью, в энергетическом отношении был наиболее эффективным в опыте.

Одно- и двулетние культуры оказались самыми энергоёмкими – более 17,7 ГДж/га в расчете на 1 год возделывания. Применение азотных удобрений увеличивало энергозатраты в среднем на 7,2 ГДж/га, что приводило к повышению совокупных затрат на возделывание ячменя в среднем на 40,7 %, одно-двулетних трав – на 29,5 %, тем не менее, благодаря росту продуктивности культур повышение затрат полностью компенсировалось соответствующим увеличением КЭЭ, уменьшением энергоёмкости кормовой единицы и сырого протеина.

Литература

1. Фигурин В. А., Сунцова Н. П., Кислицына А. П. Последействие режимов использования травосмеси лядвенца рогатого с тимофеевкой луговой на дерново-подзолистой сильнокислой почве // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 100–106.

2. Водянников В. Т. Методы оценки уровня эффективности использования энергоресурсов в сельском хозяйстве // Агроинженерия. 2012. Т. 52. № 1. С. 85–88.

3. Energy Efficiency of maize production technology: evidence from Polish farms / A. Konieczna, K. Roman, M. Roman, et al. // Energies. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 170. URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/14/1/170 (дата обращения: 29.12.2021). doi: 10.3390/en14010170.

4. Хафизов К.А. Снижение суммарных энергетических затрат на технологических операциях в АПК - путь снижения выбросов парниковых газов в атмосферу // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 43–47.

5. Ивенин А.В., Саков А.П. Влияние систем обработки светло-серой лесной почвы на урожайность и энергетическую эффективность выращивания зерновых культур за ротацию зернового севооборота в условиях Волго-Вятского региона // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 14–19.

6. Klimek-Kopyra A., Bacior M., Zając T. Biodiversity as a creator of productivity and interspecific competitiveness of winter cereal species in mixed cropping // Ecological Modelling. 2017. Vol. 343. P. 123–130. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.10.012.

7. Crop sequence effects on energy efficiency and land demand in a long-term fertilisation trial / G. Moitzi, R. Neugschwandtner, H.-P. Kaul, et al. // Plant, Soil and Environment. 2021. Vol. 67. No. 12. P. 739–746. doi: 10.17221/440/2021-PSE.

8. Использование силоса из бобово-злаковых травосмесей в рационах откармливаемых бычков / Б.Г. Шарифянов, И.Ф. Юмагузин, Ф.М. Шагалиев и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 56–60.

9. Influence of agrotechnical measures on the quality of feed of legume-grass mixtures / U. Karbivska, A. Butenko, I. Masyk, et al. // Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Vol. 9. P. 547–551. doi: 10.15421/2019_788.

10. Economic and energy efficiency of forming and using legume-cereal grass stands depending on fertilizers / U. M. Karbivska, V. G. Kurgak, V. F. Kaminskyi, et al. // Ukrainian Journal of Ecology. 2020. Vol. 10. No. 2. P. 284–288. doi: 10.15421/2020_98.

11. Оценка кормовой продуктивности перспективных селекционных образцов многолетних клеверов и лядвенца рогатого / М. Ю. Новосёлов, Л. В. Дробышева, Г. П. Зятчина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 2. С. 25–28. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10206.

12. Попов Ф. А., Козлова Л. М., Носкова Е. Н. Совершенствование технологий возделывания овса в условиях Кировской области // Аграрная Наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 2 (63). С. 64–68. doi: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.64-68.

13. Huyghe C., Litrico I., Surault F. Agronomic value and provisioning services of multi-species swards // EGF. 2012. Vol. 17. P. 35–46.

14. Благовещенский Г. В., Штырхунов В. Д., Конанчук В. В. Энерго-протеиновый потенциал трав и фуражных культур // Кормопроизводство. 2016. № 2. С. 21–23.

15. Шпаков А. С. Кормовые культуры в системах земледелия и севооборотах. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 400 с.

16. Фигурин В. А. Выращивание многолетних трав на корм. Киров: Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 2013. 188 с.

17. Ларетин Н. А., Шпаков А. С. Организация специализированного кормопроизводства в животноводческих хозяйствах молочного направления российского Нечерноземья // Вестник ВНИИМЖ. 2015. Т. 2. № 18. С. 169–177.

18. Вражнов А. В., Шаталина Л. П. Биоэнергетическая оценка севооборотов в лесостепных агроландшафтах Южного Урала // Вестник РАСХН. 2012. № 1. С. 66–69.

19. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов / А. П. Карабутов, В. Д. Соловиченко, В. В. Никитин и др. // Земледелие. 2019. № 2. С. 3–7.doi: 10.24411/0044-3913-2019-10201.

20. Лошаков В. Г. Севооборот как агроэкологическая основа систем земледелия // Научные основы систем земледелия и их совершенствование. Нижний Новгород: Нижегородская ГСХА, 2007. С. 10–14.

21. Effects of crop rotation on energy use efficiency of irrigated potato with cereals, canola, and alfalfa over a 14-year period in Manitoba, Canada / M. Khakbazan, R. Mohr, J. Huang, et al. // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 195. P. 104357. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198719300182 (дата обращения: 29.12.2021). doi: 10.1016/j.still.2019.104357.

22. Silage maize and sugar beet for biogas production in crop rotations and continuous cultivation – energy efficiency and land demand / A. Jacobs, W. Brauer-Siebrecht, O. Christen, et al. // Field Crops Research. 2016. Vol. 196. P. 75–84. doi: 10.1016/j.fcr.2016.06.008.

23. Energy efficiency of winter wheat in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions / G. Moitzi, R. W. Neugschwandtner, H.-P. Kaul, et al. // European Journal of Agronomy. 2019. Vol. 103. P. 24–31. doi: 10.1016/j.eja.2018.11.002.

24. Soni P., Sinha R., Perret S. R. Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India // Energy Reports. 2018. Vol. 4. P. 554–564. doi: 10.1016/j.egyr.2018.09.001.

25. Fossil energy use, climate change impacts, and air quality-related human health damages of conventional and diversified cropping systems in Iowa, USA / N. D. Hunt, M. Liebman, S. K. Thakrar, et al. // Environ. Sci. Technol. 2020. Vol. 54. No. 18. P. 11002–11014. doi: 10.1021/acs.est.9b06929.

26. Agro-energy efficiency of improved technologies for the production of pasture fodder in upland meadows of the Central non-Chernozem region / A. A. Kutuzova, V. M. Kosolapov, K. N. Privalova, et al. // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 901. No. 1. P. 012048. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/901/1/012048 (дата обращения: 29.12.2021). doi: 10.1088/1755-1315/901/1/012048.

27. Продуктивность севооборотов в зависимости от системы внесения минеральных удобрений / П. С. Семешкина, В. Н. Мазуров, В. А. Бурлуцкий и др. // Вестник ОрелГАУ. 2017. Т. 4. № 67. С. 57–61.

28. Козлова Л. М., Свечников А. К. Влияние многолетнего использования кормовых бобово-злаковых травосмесей на урожай-

ность культур в агрофитоценозах // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 3. С. 15–22. doi: 0.24411/0235-2451-2021-10303.

Bioenergetic efficiency of agricultural phytocenosis in the cultivation of perennial legumes and grasses

L. M. Kozlova[1], A. K. Svechnikov[2]
[1]Rudnitsky Federal Agrarin Scientific Center of the North-East, ul. Lenina, 166a, Kirov, 610007, Russian Federation
[2]Mari Research Institute of Agriculture – branch of the Rudnitsky Federal Agrarin Scientific Center of the North-East, ul. Pobedyi, 10, pos. Ruem, Medvedevskii r-n, Respublika Mari El, 425231, Russian Federation

Abstract. *The study aimed to assess the energy efficiency of the cultivation of fodder agricultural phytocenoses with different saturation with perennial legume-grass mixtures and nitrogen fertilizers. The work was carried out in 2013–2018 in the Republic of Mari El. The design of the experiment included the following treatments: the degree of saturation of agricultural phytocenosis with perennial legume-grass mixtures (factor A) – 16.7%, 33.3%, 50.0%, 100.0%; mineral fertilizers (factor B) – P60K60, N60P60K60. With each increase in the proportion of perennial legumes and grasses in the cenosis by 16.7%, the coefficient of energy efficiency of fodder production increased by 0.46 units, up to 3.49 units at 100% saturation. At the same time, the energy intensity of obtaining 1 feed unit, on the contrary, decreased by 1.5 MJ, and of collecting 1 kg of protein – by 14.0 MJ. With an increase in the proportion of perennial grasses, the total energy consumption decreased by 5 GJ/ha against the background of P60K60, and by 9 GJ/ha against the background of N60P60K60. As a result, the best bioenergetic indicators in the experiment were noted in the agricultural phytocenosis with the long-term use of goat's rue-brome grass mixture. Fields with annual and biennial crops were the most energy-intensive (more than 17.7 GJ/ha per year of cultivation). The use of nitrogen fertilizers increased the value of this indicator by another 7.2 GJ/ha. Against the background of N60P60K60, the total costs for the cultivation of barley increased on average by 40.7%, annual and biennial grasses – by 29.5%. However, due to the increase in the productivity of cultivated crops, they were fully repaid by an equivalent increase in energy efficiency coefficients, as well as a decrease in the energy capacity of feed units and crude protein.*

Keywords: *fodder crop rotations; mineral nitrogen; energy consumption; CEE; energy capacity; crude protein; feed units.*

Author Details: *L. M. Kozlova, D. Sc. (Agr.), head of department (e-mail: zemledel_niish@mail.ru); A. K. Svechnikov, research fellow (e-mail: koalder@yandex.ru).*

For citation: *Kozlova LM, Svechnikov AK [Bioenergetic efficiency of agricultural phytocenosis in the cultivation of perennial legumes and grasses]. Zemledelie. 2022; (1): 14-9. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-14-19.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-19-22
УДК 633.112.1»321»:631.5(470.56)

Возделывание яровой твёрдой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения Оренбургского Предуралья*

В. Ю. СКОРОХОДОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru)
А. А. ЗОРОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Н. А. МАКСЮТОВ, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
Д. В. МИТРОФАНОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Ю. В. КАФТАН, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Н. А. ЗЕНКОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, просп. Гагарина, 27/1, Оренбург, 460051, Российская Федерация

Исследования проводили с целью определения влияния предшественников и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в различных севооборотах и при бессменном возделывании в засушливых условиях. Работу проводили в Оренбургской области в 2016–2021 гг. на южных чернозёмах. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: предшественники твёрдой пшеницы в севооборотах (фактор А) – пар (чистый, занятый, сидеральный) – твёрдая пшеница – мягкая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень; пар чистый – озимая рожь – твёрдая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень; мягкая пшеница – твёрдая пшеница; кукуруза на силос – твёрдая пшеница; горох – твёрдая пшеница; бессменный посев твёрдой пшеницы; удобрения (фактор В) – без удобрений; органические и минеральные удобрения. Резкие перепады температуры воздуха в течение суток (от +8 до +35 °С) в период вегетации (май–август) культуры приводили к снижению урожайности на неудобренном фоне в шестипольных севооборотах с 1,29 до 1,10 т/га. Наибольшая в опыте величина этого показателя отмечена на удобренном фоне по сидеральному пару – 1,32 т/га. Прочность макарон из зерна твёрдой пшеницы, возделываемой по сидеральному пару, достигала 641 единиц по прибору Строгонова, содержание сырой клейковины в зерне – 30,5 %, что на 4,3 % выше, чем в контроле. Причинами снижения урожайности твёрдой пшеницы в бессменных посевах выступают поражение корневыми гнилями и почвоутомление. Согласно принятой градации, высокая степень почвоутомления отмечена в бессменном посеве твёрдой пшеницы. При ее возделывании в шестипольных севооборотах с применением минеральных удобрений почвоутомление проявлялось в меньшей степени, что приводит к увеличению урожайности и качества зерна, в сравнении с бессменным посевом.

Ключевые слова: *предшественник, яровая твёрдая пшеница (Triticum durum), занятый пар, сидеральный пар, севооборот, бессменный посев, урожайность, удобрение, корневые гнили, почвоутомление.*

Для цитирования: *Возделывание яровой твёрдой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения Оренбургского Предуралья / В. Ю. Скороходов, А. А. Зоров, Н. А. Максютов и др. // Земледелие. 2022. № 1. С. 19–22. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-19-22 .*

Твёрдая яровая пшеница (*Triticum durum*) – самая ценная культура среди зерновых, предъявляет высокие требования к почвам, технологиям выращивания и природно-климатическим условиям [1, 2, 3]. Снижение в последние годы объёмов использования минеральных и органических удобрений отрицательно сказывается на плодородии почвы [4, 5, 6].

Оренбуржье – ведущий регион производства твёрдой пшеницы и частые засушливые условия периода вегетации отрицательно влияют на ее урожайность. Поэтому необходимы приемлемые агротехнологии, повышающие продуктивность и технологические качества зерна твёрдой пшеницы [7, 8, 9].

Потеря качества зерна в бессменных посевах со снижением урожайности отмечается из-за усиления инфекционного фона, ухудшения почвенного плодородия, в первую очередь без использования удобрений [10, 11, 12]. Лучшими предшественниками твёрдой пшеницы, от которых зависит качество зерна, выступают чистые пары, озимые культуры, кукуруза на силос, горох

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2022-2024 гг. ФГБНУ БСТ РАН (№ 0526-2022-0014).*

[13, 14]. Положительно влияет на него использование зелёного удобрения (сидератов) [15, 16].

К числу наиболее распространенных и опасных инфекций пшеницы относятся корневые гнили [17]. При сильном поражении посевов может теряться до 70 % урожая [18, 19]. Для изучения вредоносности этих заболеваний и борьбы с ними проводят исследования в области генетики, селекции и земледелия [20, 21, 22].

Цель исследований – определение влияния предшественников и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна твёрдой пшеницы в различных севооборотах и при бессменном возделывании в засушливых условиях Оренбургского Предуралья.

Исследования проводили в стационарных полевых опытах в ОПХ им. Куйбышева (51°46′01″ с. ш., 55°21′45″ в. д.) в Оренбургской области на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья. Содержание гумуса в слое почвы 0…30 см составляло 3,2…4,0 %, нитратного азота – 8,7…18,1 мг/кг, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – соответственно 15…25 и 300…380 мг/кг, pH водной суспензии – 7,0…8,1 ед.

Опыты закладывали с 2016 по 2021 гг. на стационарном экспериментальном участке, который существует с 1988 г. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов:

предшественники яровой твёрдой пшеницы в севооборотах (фактор А) – пар (чистый, занятый, сидеральный) – твёрдая пшеница – мягкая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень; пар чистый – озимая рожь – твёрдая пшеница – кукуруза на силос – мягкая пшеница – ячмень; мягкая пшеница – твёрдая пшеница; кукуруза на силос – твёрдая пшеница; горох – твёрдая пшеница; бессменный посев твёрдой пшеницы;

уровень питания (фактор В) – без удобрений; минеральные удобрения (после чистого и занятого паров – $P_{80}K_{40}$, после непаровых предшественников в севооборотах и при бессменном возделывании – $N_{40}P_{80}K_{40}$).

Эксперимент проводили в четырехкратной повторности. Размеры делянок составляли 7,2 м × 90 м, в том числе длина удобренного фона 30 м, неудобренного – 60 м. Учетная площадь делянки на удобренном фоне составляла 60 м², на неудобренном – 120 м².

В полевых условиях для определения весенних почвенных влагозапасов на делянках посевов твёрдой пшеницы ручным пробоотборником отбирали образцы из трёх скважин в слое 0…100 см. В лабораторных условиях определяли влажность почвы термостатно-весовым методом, качество зерна твёрдой пшеницы – по ГОСТ 31463-201, прочность макарон – на приборе Строгонова.

Метод определения почвоутомления заключался в следующем: почву, отобранную из слоя 0…20 см опытных делянок, помещали в кюветы и высевали тестовые, чувствительные к токсинам семена редиса. Проращивали их в термостате при освещении в 5 тыс. лк., влажности почвы 60 % от наименьшей полевой влагоёмкости и температуре 10…15 °С в течение 10…12 суток. После этого подсчитывали число проросших семян и определяли их всхожесть. Выделяли три степени почвоутомления: низкая – всхожесть 76 % и выше, средняя – 50…75 %, высокая – 49 % и ниже.

В опытах высевали яровую твёрдую пшеницу сорта Оренбургская 21 нормой 4 млн шт. всхожих семян на 1 га. Уборку проводили прямым комбайнированием с использованием «Сампо-500», солому измельчали и разбрасывали по поверхности. Полевые и лабораторные исследования выполняли общепринятыми методами.

За период проведения эксперимента к сильно засушливым относятся 2016, 2018, 2020 и 2021 гг. с гидротермическим коэффициентом по Г.Т. Селянинову соответственно 0,38, 0,39, 0,30 и 0,23. К средне засушливым (ГТК вегетационного периода 0,50 и 0,68) относятся 2017 и 2019 гг. Особенности вегетационного периода (май–август) твёрдой пшеницы в 2016 г. заключаются в высокой среднесуточной температуре воздуха (21,0 °С) с минимумом (86 мм) выпавших осадков при норме 19,1 °С и 155 мм соответственно.

Урожайность зерна твёрдой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения во многом определяется весенними запасами почвенной влаги, а в некоторые годы формируется только благодаря им. В среднем за 2016–2021 гг. запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы после посева по предшественникам пар чистый, занятый и сидеральный составляли соответственно 185,2, 142,3 и 140,2 мм. За вегетационный период (май–август) чистый пар сохраняет и накапливает продуктивную влагу значительно лучше, чем другие предшественники. На других делянках предшествующие полевые культуры расходуют влагу на свой рост и развитие, что приводит к снижению ее остаточного количества в метровом слое почвы.

В среднем за 2016–2021 гг. наибольшая в опыте урожайность (1,32 т/га) твёрдой пшеницы отмечена на удобренном фоне по сидеральному пару (см. рисунок). При этом в двух вариантах (по чистому пару в шестипольном севообороте и по гороху в двуполье) отмечена тенденция к ее увеличению без применения удобрений, по сравнению с удобренным фоном. При бессменном возделывании твёрдой пшеницы на удобренном и неудобренном агрофонах урожайность снижается до 0,94 и 0,81 т/га соответственно. Сбор зерна твёрдой пшеницы по чистому пару в среднем на двух агрофонах составил 1,27 т/га, по занятому на удобренном фоне – 1,29 т/га, на неудобренном – 1,24 т/га.

Озимая рожь в качестве предшественника уступает чистому, занятому и сидеральному парам на обоих фонах питания по причинам большего выноса питательных веществ из почвы на формирование культуры. Урожайность твёрдой пшеницы после озимой ржи составила на удобренном фоне 1,21 т/га, на неудобренном – 1,10 т/га. Мягкая пшеница как предшественник твёрдой вследствие биологических особенностей уступает кукурузе и гороху. Урожайность твёрдой пшеницы, размещаемой после мягкой пшеницы, на фоне мине-

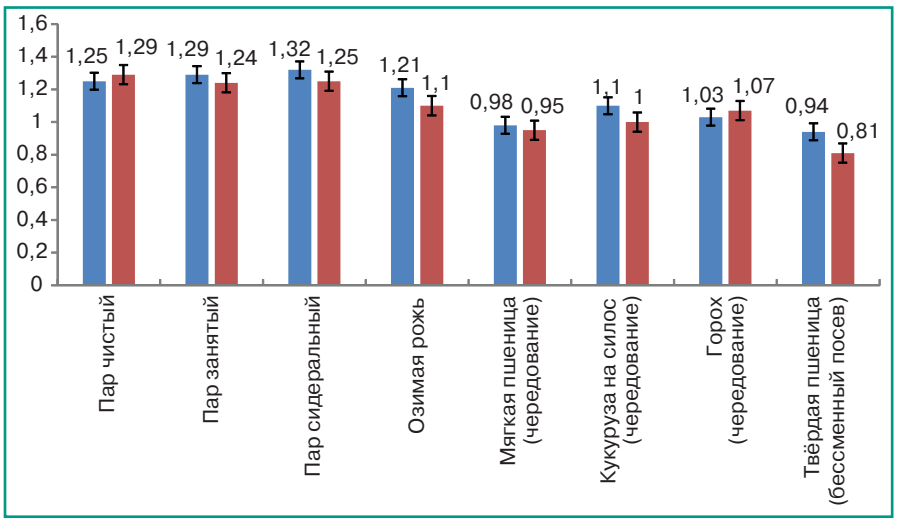


Рисунок. *Урожайность твёрдой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня питания (среднее за 2016–2021 гг.), т/га: ■ – удобренный фон; ■ – неудобренный фон.*

1. Урожайность твёрдой пшеницы и поражение посевов корневыми гнилями (2016 г.)

Предшественник	Развитие корневых гнилей, %	Урожайность, т/га
Чистый пар	51,0*	0,59
	41,5	0,81
Твёрдая пшеница (бессменно)	13,7	0,85
	8,9	0,52
Кукуруза на силос	11,2	1,62
	8,9	1,35
Горох	12,7	1,43
	7,5	1,50
$НСР_{05}$ для фактора А (предшественник)	1,73	0,46
$НСР_{05}$ для фактор В (удобрения)	1,22	0,33

**в числителе удобренный, в знаменателе неудобренный фон.*

ральных удобрений составила 0,98 т/га, без удобрений – 0,95 т/га.

Низкая урожайность твёрдой пшеницы усугубляется действием корневых гнилей. Эффективным приёмом борьбы с ними служит введение в севообороты занятых паров. При бессменном посеве твёрдой пшеницы фитопатогенный фон повышается с увеличением поражения корневыми гнилями, что приводит к снижению продуктивности культуры.

Корневые гнили проявляются не ежегодно. В нашем исследовании поражение заболеванием отмечено в засушливом 2016 г., когда урожайность твёрдой пшеницы снижалась до 0,59 т/га вследствие развития инфекций на удобренном фоне питания по чистому пару до 51,0 % (табл. 1).

Возделывание твёрдой пшеницы в двупольных зернопропашном и зерновом севооборотах в засушливых условиях 2016 г. не сопровождалось заметным снижением урожайности. Средняя величина этого показателя после кукурузы на силос составляла на удобренном фоне 1,62 т/га, на неудобренном – 1,35 т/га, после гороха – 1,43 и 1,50 т/га соответственно. Это объясняется положительным последействием предшествующих (кукуруза и горох) культур. Развитие корневых гнилей при возделывании твёрдой пшеницы в двуполье при чередовании с кукурузой и горохом на удобренном фоне питания уменьшалось до 11,2...12,7 %, на неудобренном – до 7,5...8,2 %. При бессменном возделывании высокая поражённость твёрдой пшеницы корневыми гнилями приводит к снижению урожайности. Многие ученые считают, что чистый пар снимает инфекции корневых гнилей, которые накапливаются в почве. Однако в наших исследованиях наибольшее поражение растений (51,0 % на удобренном, 41,5 % на неудобренном фонах) отмечали именно после этого предшественника. Повреждение твёрдой пшеницы корневыми гнилями по чистому пару начиналось в фазе кущения из-за повышенной температуры воздуха (до 35 °С) в течение суток. Урожайность культуры на удобренном фоне составила 0,59 т/га, на неудобренном – 0,81 т/га.

Избыточное накопление нитратного азота в паровом поле при увлажнении метрового слоя почвы и жаркой засушливой погоде в июне приводит к вспышке почвенных инфекций, в том числе корневых гнилей. В таких условиях в сильно засушливом 2016 г. внесение минеральных удобрений в паровом поле способствовало еще большему развитию болезни.

Макаронные качества зерна твёрдой пшеницы, выращенного по занятому и сидеральному парам, в сравнении с чистым паром, не снижаются. Их самая высокая общая оценка зафиксирована после занятого пара (табл. 2). По этому предшественнику отмечена и наибольшая общая стекловидность зерна, которая была выше, чем в остальных вариантах, на 1...2 %. Самое высокое содержание сырой и сухой клейковины зафиксировано после сидерального пара, оно достоверно превышало величину этого показателя в зерне, выращенном по другим паровым предшественникам, на 3,0...4,5 % и 0,7...1,1 %. Наибольший индекс деформации клейковины (ИДК-1) был у зерна, выращенного после чистого пара. Независимо от предшественника клейковина относилась к третьей группе качества.

Одной из возможных причин снижения урожайности твёрдой пшеницы при бессменном возделывании выступает почвоутомление с нарастающим токсикозом пахотного слоя. Обычно сильное почвенное утомление отмечается в зонах с большим количеством выпадающих осадков, в основном на подзолистых почвах. В нашем эксперименте его высокая степень отмечена при бессменном возделывании твёрдой пшеницы (табл. 3). При возделывании твёрдой пшеницы в шестипольном севообороте степень почвоутомления была средней, в двупольном при чередовании с мягкой пшеницей – низкой.

Таким образом, в условиях неустойчивого увлажнения Оренбургского Предуралья лучшими предшественниками яровой твёрдой пшеницы, положительно влияющими на урожайность и качество зерна, выступают чистые, занятые и сидеральный пары в шестипольных севооборотах, обеспечивающие на фоне применения минеральных удобрений формирование урожайности зерна на уровне 1,24...1,32 т/га с высокими макаронными качествами. Бессменное возделывание твёрдой пшеницы приводит к снижению урожайности на удобренном фоне до 0,94, на неудобренном – до 0,81 т/га.

Наибольшее в опыте развитие корневых гнилей (51%) отмечено в

2. Качество зерна твёрдой пшеницы в зависимости от вида пара на неудобренном фоне питания (среднее за 2016–2021 гг.)

Вид пара	Макаронные качества			Качество клейковины				
	прочность	коэффициент разваривaемости	общая оценка	общая стекловидность, %	содержание клейковины, %		ИДК-1, ед.	группа качества
					сырой	сухой		
Чистый (контроль)	630	4,1	3,7	77	26,2	9,3	109	III
Занятый	633	4,1	3,9	78	27,5	9,7	105	III
Сидеральный	641	4,1	3,8	76	30,5	10,4	107	III
$НСР_{05}$	1,05	–	0,2	1	0,5	0,4	1	–

3. Оценка почвоутомления в зависимости от севооборота на неудобренном фоне питания (среднее за 2016–2021 гг.)

Вариант	Количество всходов редиса за 10 суток	
	шт.	%
Твёрдая пшеница по мягкой пшенице в двупольном севообороте	45	82
Твёрдая пшеница в шестипольном севообороте	38	74
Твёрдая пшеница по кукурузе на силос в двупольном севообороте	31	60
Твёрдая пшеница (бессменно)	16	31
$НСР_{05}$	1	2

посеве твёрдой пшеницы по чистому пару на фоне применения удобрений, приведшее при повышенных среднесуточных температурах воздуха к снижению урожайности зерна до 0,59 т/га. Поражение твёрдой пшеницы корневыми гнилями снижается при возделывании в двупольных севооборотах благодаря биологическим особенностям кукурузы на силос и гороха.

Бессменное возделывание яровой твёрдой пшеницы сопровождается высокой степенью почвоутомления. Для устранения либо снижения его отрицательного воздействия посевы культуры необходимо размещать в севооборотах.

Литература.

1. Розова М.А., Зиборов А.И., Егиазарян Е.Е. Связь температурных показателей периода вегетации с основными агрономически значимыми характеристиками сортов яровой твердой пшеницы на Алтае // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 9–15.

2. Усенко С. В., Усенко В. И., Гаркуша А. А. Эффективность приёмов обработки почвы и средств интенсификации на яровой пшенице в зависимости от метеоусловий и предшественника в лесостепи Алтайского Приобья // Земледелие. 2019. № 5. С. 16–21.

3. Никифорова С. А., Захаров С. А. Отзывчивость яровой пшеницы на действие и последействие органических и минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (52). С. 88–93.

4. Влияние предшественников и фона питания на урожайность яровой твёрдой пшеницы в засушливой степи Оренбургского Предуралья / Н. А. Максютов, А. А. Зоров, В. Ю. Скороходов и др. // Известия Самарской Государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 11–17.

5. Котченко С.Г., Краснова Е.А. Мониторинг состояния плодородия пахотных земель Тюменской области // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 11–14.

6. Суринов А.В. Динамика плодородия пахотных черноземов лесостепной зоны Центрально-Черноземных областей России // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 57–61.

7. Скороходов В. Ю. Совершенствование технологии возделывания яровой твёрдой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 49–53.

8. Качество зерна пшеницы в зависимости от предшественника, обработки почвы, удобрений и средств защиты растений в лесостепи юга Западной Сибири / С.В. Усенко, В.И. Усенко, А.А. Гаркуша и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 32-37.

9. Розова М.А., Егиазарян Е.Е., Зиборов А.И. Результаты изучения допущенных к использованию в России сортов яровой твердой пшеницы по урожайности и качеству зерна в условиях Алтайского края // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 56-61.

10. Урожайность яровой твёрдой пшеницы в зависимости от гидротермических условий на светло-каштановых почвах Волгоградской области / В. В. Балашов, А. В. Балашов, К. В. Левкина и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2017. № 4. С. 29–35.

11. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter / J. Hirte, J. Leifeld, S. Abiven, et al. // Front Plant Sci. 2017. Vol. 8. No. 1. P. 284–297. doi: 10.3389/fpls.2017.00284.

12. Durum wheat grain yield and quality under low and high nitrogen conditions: insights into natural variation in low- and high-yielding genotypes / S. B Mariem., J. González-Torralba, C. Collar, et al. // Plants (Basel). 2020. Vol. 9. No. 12. P. 1636–1657. doi: 10.3390/plants9121636.

13. Ложкин А. Г., Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Яровая твёрдая пшеница в условиях лесостепной зоны Чувашской Республики // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4 (58). С. 59–62.

14. Формирование урожайности и качества зерна яровой пшеницы под влиянием некорневых подкормок / И. С. Полетаев, А. П. Солодовников, Н. Н. Гусакова и др. // Аграрный научный журнал. 2019. № 9. С. 18–24.

15. Скороходов В. Ю. Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала // Плодородие. 2021. № 2 (119). С.55–60.

16. Лазарев В. И., Лазарева Р. И., Ильин Б. С. Агротехнологическая оценка возделывания яровой пшеницы по различным предшественникам в условиях Курской области // Земледелие. 2019. № 5. С. 25–27.

17. Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, Г.Я. Стецов и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 6. С. 25-32.

18. Шмарко Н. В., Вихорев Г. В. Рациональное использование паров и приёмов биологизации в условиях Верхневолжья // Земледелие. 2015. № 6. С. 23–25.

19. Genome-wide association study for spot blotch resistance in hard winter wheat / T. A. Girma, A. Shaukat, S. S. Jagdeep, et al. // Front Plant Sci. 2018. Vol. 9. No. 1. P. 926–941. doi:10.3389/fpls.2018.00926

20. Повышение урожайности зерновых культур и снижение вредоносности возбудителей болезней при использовании акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста /Л.Е. Колесников, М.В. Успенская, М.И. Кременевская и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 3. С. 33-40.

21. TaPIMP2, a pathogen-induced MYB protein in wheat, contributes to host resistance to common root rot caused by Bipolaris sorokiniana / X. Wei, T. Shan, Y. Hong, et al. // Sci Rep. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 1754 –1769. doi: 10.1038/s41598-017-01918-7.

22. Adaptive traits to improve durum wheat yield in drought and crown rot environments / S. Alahmad, Y. Kang, E.Dinglasan, et al. // Int J Mol Sci. 2020. Vol. 21. No. 15. P. 5260–5329. doi: 10.3390/ijms21155260.

Cultivation of spring durum wheat under conditions of unstable moistening of the Orenburg region

V. Yu. Skorokhodov, A. A. Zorov, N. A. Maksyutov, D. V. Mitrofanov, Yu. V. Kaftan, N. A. Zenkova
Federal scientific center of biological systems and agrotechnologies Russian academy of sciences, prosp. Gagarina, 27/1, Orenburg, 460051, Russian Federation

Abstract. *The purpose of the study was to determine the influence of forecrops and mineral fertilizers on the yield and quality of durum wheat grain in different crop rotations and monoculture under arid conditions. The work was carried out in the Orenburg region in 2016–2021 on the southern chernozem. The design of the experiment involved the study of the following options: durum wheat forecrops in crop rotations (factor A), fertilizers (factor B). Factor A included the following options: fallow (bare, seeded, green manure), durum wheat, common wheat, silage corn, common wheat, barley; bare fallow, winter rye, durum wheat, corn for silage, common wheat, barley; common wheat, durum wheat; corn for silage, durum wheat; pea, durum wheat; permanent sowing of durum wheat. Factor B included an option without fertilizers and an option with organic and mineral fertilizers. Sharp changes in air temperature during the day (from +8 to +35 C) during the growing season of the crop (May-August) led to a decrease in yield against the unfertilized background in the six-field crop rotations from 1.29 to 1.10 t/ha. The highest value of this indicator in the experiment was noted against the fertilized background for green manure fallow – 1.32 t/ha. The strength of pasta from durum wheat grain cultivated after green manure fallow reached 641 units according to the Strogonov device, the content of raw gluten in the grain was 30.5%, which was 4.3% higher than in the control. The reasons for the decrease in the yield of durum wheat in permanent crops are damage by root rot and soil fatigue. According to the accepted gradation, a high degree of soil fatigue was noted in the permanent sowing of durum wheat. When it was cultivated in six-field crop rotations with the use of mineral fertilizers, soil fatigue was manifested to a lesser extent, which led to an increase in yield and grain quality, in comparison with permanent sowing.*

Keywords: *forecrop; durum wheat (Triticum durum); seeded fallow; green manure fallow; crop rotation; permanent sowing; yield; fertilizer; root rot; soil fatigue.*

Author Details: *V. Yu. Skorokhodov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru); A. A. Zorov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; N. A. Maksyutov, D. Sc. (Agr.), chief research fellow; D. V. Mitrofanov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; Yu. V. Kaftan, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; N. A. Zenkova, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow.*

For citation: *Skorokhodov VYu, Zorov AA, Maksyutov NA, et al. [Cultivation of spring durum wheat under conditions of unstable moistening of the Orenburg region]. Zemledelie. 2022;(1):19-22. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2021-1-19-22.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-23-26
УДК 633.491:631.816.1

Влияние удобрений на продуктивность, качество и сохранность картофеля в период хранения в степной зоне Хакасии

Вит. В. ЧАГИН[1], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (e-mail: chagin2008@gmail.com)
В. В. ЧАГИН[2], кандидат биологических наук, начальник отдела (e-mail: tchagin@mail.ru)
[1]Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, просп. Ленина, 92, Абакан, 655017, Российская Федерация
[2]Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Орликов пер., 1/11, Москва, 107996, Российская Федерация

Исследования проводили с целью изучения влияния минеральных и гуминовых удобрений на продуктивность, биохимический состав и сохранность картофеля. Полевой эксперимент закладывали в 2018–2020 гг. на темно-каштановых почвах в Республике Хакасия. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: без удобрений (контроль), Гумат калия, минеральные удобрения для формирования урожая картофеля 30 т/га, Гумат калия в сочетании с минеральными удобрениями для формирования урожая картофеля 30, 35 и 40 т/га. Высаживали среднеранний сорт Невский. Минеральные удобрения вносили под культивацию перед посадкой, гуминовые – при посадке картофеля и в начале фазы бутонизации путем опрыскивания. Использование гуминового удобрения способствовало более раннему (на 2…3 дня) прохождению фаз развития, в отличие от минеральных удобрений, внесение которых сопровождалось увеличением межфазных периодов. Совместное применение минеральных и гуминовых удобрений частично позволяло нейтрализовать эти эффекты. Высота растений картофеля при использовании комплекса удобрений увеличивалась на 4,7…14,1 см, средняя площадь листьев – на 1,3…7,9 тыс. м²/га. Прибавки урожая составляли от 1,3 до 16,4 т/га (6,4…80,8 %). Гуминовое удобрение способствовало повышению накопления в клубнях сухих веществ, крахмала и витамина С, а также снижению количества нитратов, в сравнении, с минеральными удобрениями. Сохранность клубней, выращенных в варианте с использованием гуматов, за период хранения была на 2,3 % выше, чем в контроле, тогда как в вариантах с минеральными удобрениями, напротив, отмечено увеличение потерь на 1,6…4,3 % в зависимости от нормы внесения.

Ключевые слова: *картофель (Solanum tuberosum), минеральные удобрения, гуминовые удобрения, урожайность, сохранность картофеля.*

Для цитирования: *Чагин Вит. В., Чагин В. В. Влияние удобрений на продуктивность, качество и сохранность картофеля в период хранения в степной зоне Хакасии // Земледелие. 2022. №1. С. 23–26. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-23-26.*

С учетом биологических особенностей картофеля условия резко континентального климата южной части Средней Сибири представляются сложным испытанием для культуры, имеющей высокий потенциал продуктивности (40…70 т/га). В среднем по России его урожайность составляет 11,0…13,0 т/га, по Хакасии – 9,8…12,5 т/га. Это указывает на невысокое соответствие применяемых технологий основным требованиям культуры. Совершенствование элементов агротехники может развиваться по таким основным направлениям, как использование высокоурожайных экологически пластичных сортов [1, 2, 3], применение регуляторов роста растений [4, 5], защитных препаратов [6, 7], органоминеральных [8, 9, 10] и минеральных удобрений [11, 12, 13], улучшение условий хранения [14, 15] и др. Поэтому важнейшим фактором увеличения продуктивности картофеля при условии достаточной обеспеченности теплом и влагой, а также наличия посадочного материла высоких репродукций, остается оптимизация питательного режима почвы.

Цель исследований – изучение влияния различных доз минеральных и гуминовых удобрений на продуктивность, биохимический состав и сохранность картофеля в условиях степной зоны Хакасии.

В опытах выращивали среднеранний сорт картофеля Невский. Эксперимент закладывали на темно-каштановой легкосуглинистой почве с содержанием гумуса в пахотном горизонте 2,8 % и слабощелочной реакцией среды (pH – 8,0). Обеспеченность подвижным фосфором - средняя, калием - высокая (соотвественно 23...25 и 485...550 мг/кг по Мачигину).

Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: без удобрений (контроль), Гумат калия, минеральные удобрения для формирования урожая картофеля 30 т/га, Гумат калия в сочетании с минеральными удобрениями для формирования урожая картофеля 30, 35 и 40 т/га.

Полевой эксперимент проводили в степной зоне Республики Хакасия. По данным метеостанции «Хакасская», расположенной недалеко от опытного участка, благоприятные для начала роста и развития культуры температурные условия зафиксированы только в мае 2020 г. – 15,1 °С. В остальные годы температурный режим был ниже нормы. Благоприятное для культуры количество осадков в этом месяце отмечено в 2018 г. (табл. 1).

В июне среднемесячные температуры по годам исследований различались на 5,5 °С. Среднемесячные суммы осадков сильно варьировали: в первый год исследований их количество было наименьшим и составляло 22,4 мм, во второй – 50,1 мм, в третий – 139,8 мм. Это отразилось не только на росте и развитии культуры, но и на кратном увеличении количества сорняков в посадках.

Среднемесячные температуры воздуха в июле в 2018–2020 гг. были примерно одинаковыми, а количество осадков изменялось от 24,3 мм в 2018 г. до 108,2 мм в 2019 г. По средним температурам в августе и сентябре, как и в июле, в годы исследований значительных различий не наблюдали, а сумма осадков в 2018 г. значительно превы-

1. Среднемесячные температуры воздуха и количество осадков по данным метеостанции «Хакасская» Республики Хакасия

Год	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	t, °С	мм	t, °С	мм	t, °С	мм	t, °С	мм	t, °С	мм
2018	9,3	63,9	20,6	22,4	19,1	24,3	18,7	108,4	10,7	79,2
2019	9,9	16,2	17,4	50,1	18,8	108,2	18,2	80,7	11,4	40,1
2020	15,1	21,4	15,1	139,8	19,3	66,9	17,9	67,7	10,3	41,4
Норма	13,6	30,9	18,3	52,1	20,1	61,4	17,8	53,6	12,3	39,6

2. Сроки наступления фенологических фаз у сорта картофеля Невский (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Число дней от посадки до			
	всходов	бутонизации	цветения	отмирания ботвы
Без удобрений (контроль)	28	49	57	73
NPK (под урожай 30 т/га)	30	53	60	76
Гумат калия	26	47	56	70
NPK (под урожай 30 т/га) + Гумат калия	29	51	59	75
NPK (под урожай 35 т/га) + Гумат калия	30	51	59	75
NPK (под урожай 40 т/га) + Гумат калия	30	52	60	77

шала величину этого показателя в 2019 и 2020 гг., в которые она находилась на уровне среднемноголетней.

Значительные различия отмечены по сумме температур выше +10 °С. В 2018 г. она составляла 1934,1 °С (ГТК=1,68), в 2019 г. – 1840 °С (ГТК=1,85), в 2020 г. – 2187,3 °С (ГТК=1,72).

Картофель возделывали по технологии, рекомендованной для степной зоны региона. Опыты закладывали в четырехкратной повторности, площадь учетной делянки составляла 25 м^2, размещение вариантов рендомизированное. Посадку картофеля ежегодно проводили во второй половине первой декады мая. Расчет доз минеральных удобрений выполняли балансовым методом (*Шатилов И. С. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1987. 358 с.; Каюмов М. К. Справочник по программированию урожаев. М.: Россельхозиздат, 1987. 368 с.*). Для формирование урожая 30 т/га клубней вносили 187,2 кг/га карбамида, 183,9 кг/га суперфосфата гранулированного и 112,0 кг/га сульфата калия, для формирования 35 т/га – соответственно 218,4, 214,6 и 130,7 кг/га указанных удобрений, 40 т/га – 249,6, 245,2 и 149,3 кг/га. Удобрения вносили под культивацию перед посадкой картофеля. Гумат калия применяли согласно инструкции производителя – обрабатывали клубни перед посадкой (1,4…1,5 л препарата на 40 л воды при расходе рабочего раствора 40 л на 1 т клубней) и дважды опрыскивали растения в период вегетации (по 1,4…1,5 л/га в фазе 5…7 листьев и в фазе бутонизации при расходе рабочей жидкости 300 л/га). Площадь листовой поверхности учитывали по методике, предложенной Н.Ф. Коняевым (*Коняев Н. Ф. Математический метод определения площади листьев растений // Доклады ВАСХНИЛ. 1970. № 9. С. 43–46.*), фотосинтетический потенциал – по методике А.Ф. Ничипоровича (*Ничипорович А. Ф. Фотосинтетическая деятельность в посевах сельскохозяйственных культур. М.: Сельхозгиз, 1961. 231 с.*). Качественные показатели клубней определяли в ГСАС «Хакасская»: содержание сухого вещества – методом высушивания, крахмала – весовым методом, сахаров – по Бертрану, аскорбиновой кислоты – по Мурри, нитратов – ион-селективным методом (*Ермаков А. И. Методика биохимических исследований. М.: Колос, 1979. 268 с.*).

Оценку заболеваемости клубней в период хранения проводили согласно действующей методике (*Хранение картофеля / К. А. Пшеченков, В. Н. Зейрук, С. Н. Еланский и др. М.: Агроспас, 2016. 144 с.*). Математическую обработку данных выполняли по Б.А. Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985. 365 с.*).

3. Биометрические и фотосинтетические показатели растений сорта картофеля Невский (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Высота растения, см	Число стеблей, шт./куст	Площадь листьев, тыс. м^2/га		ФСП, тыс. м^2·сут./га
			средняя	максимальная	
Без удобрений (контроль)	53,6	4,4	11,9	16,8	868,7
NPK (под урожай 30 т/га)	59,1	4,4	15,1	19,9	1147,6
Гумат калия	58,3	5,1	13,2	18,6	924,0
NPK (под урожай 30 т/га) + Гумат калия	62,8	4,9	17,3	23,5	1297,5
NPK (под урожай 35 т/га) + Гумат калия	64,3	4,8	18,6	25,3	1395,0
NPK (под урожай 40 т/га) + Гумат калия	67,7	4,8	19,8	26,2	1524,6
$НСР_{05}$	1,9	0,2	0,7	0,9	47,4

Самые ранние всходы отмечены в вариантах, клубни которых перед посадкой обрабатывали Гуматом калия, – на 26-й день, что на 2 дня раньше, чем в контроле (28 дней). На делянках с использованием только минеральных удобрений фаза полных всходов наступала на 1…2 дня позже (табл. 2). Фазу бутонизации в контроле отмечали на 2 дня позже варианта с Гуматом калия. В посадках, где применяли минеральные удобрения отдельно и в комплексе с Гуматом калия, сроки ее наступления задерживались еще на 2…4 дня. Схожую тенденцию отмечали и для фазы цветения. Отмирание ботвы в контроле отмечали в среднем на 73-й день, при использовании минеральных удобрений отдельно и в сочетании с Гуматом калия – на 2…4 дня позже. Обработка Гуматом калия обеспечивала завершение вегетации растениями картофеля на 3 дня раньше, чем в контроле.

Наиболее высокорослые растения в опыте формировались в варианте с наилучшими условиями минерального питания – NPK под урожай 40 т/га в комплексе с Гуматом калия – 67,7 см (табл. 3), а самые низкие при использовании только Гумата калия (58,3 см) и без удобрений (53,6 см). Количество стеблей на куст картофеля сорта Невский в условиях степной зоны в среднем за 3 года в контрольном варианте составляло 4,4 шт. Использование минеральных удобрений в чистом виде никак не повлияло на величину этого показателя, тогда как при обработке Гуматом калия она возросла до 5,1 шт./куст.

С увеличением дозы удобрений возрастала как средняя, так и максимальная площадь листовой поверхности растений. Максимальная в опыте величина этого показателя (26,2 тыс. м^2/га) отмечена в варианте с внесением NPK под урожай 40 т/га в сочетании с Гуматом калия, при этом средняя площадь листьев составляла 19,8 тыс. м^2/га, что соответственно на 54,9 и 66,4 % выше, чем в контроле. В остальных вариантах максимальная площадь листьев находилась в интервале 18,6…25,3 тыс. м^2/га, а средняя – 13,2…18,6 тыс. м^2/га.

Фотосинтетический потенциал свидетельствует о том насколько эффективно функционирует ассимиляционный аппарат растений картофеля. Величина этого показателя меньше 1000 тыс. м^2 сут./га отмечена в двух вариантах – без удобрений (868,7 тыс. м^2 сут./га) и при использовании отдельно Гумата калия (924,0 тыс. м^2 сут./га). При внесении только минеральных удобрений наблюдали ее рост до 1147,6 тыс. м^2 сут./га, а в комплексе с гуминовым удобрением – до 1297,5…1524,6 тыс. м^2 сут./га.

Внесение NPK под урожай 40 т/га с одновременным использованием Гумата калия в среднем за 3 года обеспечивало формирование максимальной в опыте урожайности клубней 36,7 т/га, что на

4. Продуктивность сорта картофеля Невский в зависимости от удобрений (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Товарность клубней, %
Без удобрений (контроль)	20,3	79,8
NPK (под урожай 30 т/га)	27,4	82,1
Гумат калия	21,6	83,4
NPK (под урожай 30 т/га) + Гумат калия	29,6	85,5
NPK (под урожай 35 т/га) + Гумат калия	33,2	86,9
NPK (под урожай 40 т/га) + Гумат калия	36,7	86,8
$НСР_{05}$	1,1	1,2

С нами расти легче

avgust crop protection

Снимет стресс у культуры и агронома!

реклама

Оплот® Трио

expectrum инновационные продукты

ПРОТРАВИТЕЛЬ

дифеноконазол, 90 г/л + тебуконазол, 45 г/л + азоксистробин, 40 г/л

Трехкомпонентный протравитель семян зерновых культур с ростостимулирующим эффектом.

Полностью контролирует основной комплекс возбудителей болезней. Подавляет развитие патогенов внутри и снаружи семян. Надолго защищает от почвенной и ранней аэрогенной инфекции. Стимулирует прорастание семян, способствует получению дружных и здоровых всходов, формированию мощной корневой системы.

avgust.com

АО Фирма «Август»
тел. (495) 787-08-00

Хет-Трик®

expectrum инновационные продукты

ПРОТРАВИТЕЛЬ

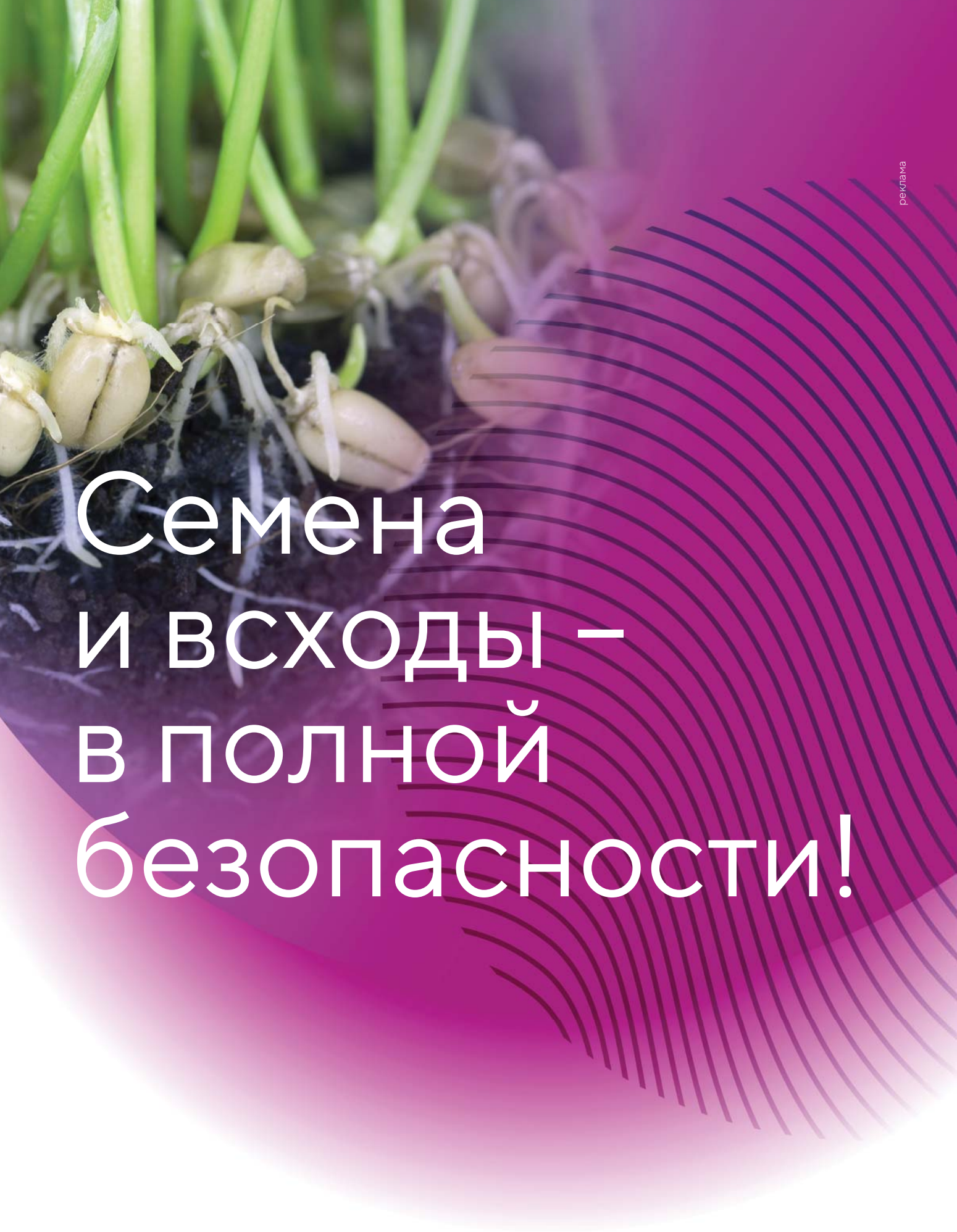
имидаклоприд, 333 г/л
+ дифеноконазол, 67 г/л
+ тебуконазол, 17 г/л

Трехкомпонентный инсектофунгицидный протравитель семян зерновых культур.

Эффективно защищает растения от основных болезней семян и всходов и одновременно контролирует почвообитающих и наземных вредителей. Благодаря двум идеально дополняющим друг друга фунгицидным компонентам продолжительно действует на внутреннюю и внешнюю инфекцию. Не оказывает ретардантного действия на всходы.

avgust.com

АО Фирма «Август»
тел. (495) 787-08-00


реклама
Семена
и всходы –
в полной
безопасности!
С нами расти легче
avgust
crop protection

С нами расти легче

avgust crop protection

Особый подход к защите картофеля

реклама

Идикум®

expectrum инновационные продукты

ПРОТРАВИТЕЛЬ

ипродион, 133 г/л + имидаклоприд, 100 г/л + дифеноконазол, 6,7 г/л

Инсектофунгицидный протравитель клубней картофеля.
Обеспечивает одновременную комплексную защиту от болезней и вредителей. Благодаря трем действующим веществам с разным механизмом действия обеззараживает клубни и почву, защищает проростки. Позволяет управлять резистентностью патогенов за счет отсутствия на рынке прямых аналогов.

avgust.com

АО Фирма «Август»
тел. (495) 787-08-00

5. Биохимические показатели качества клубней сорта картофеля Невский в зависимости от удобрений (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Содержание на сырое вещество			
	сухое вещество, %	крахмал, %	витамин С, мг%	нитраты, мг/кг
Без удобрений (контроль)	21,1	17,3	12,4	87
NPK (под урожай 30 т/га)	20,3	15,3	11,0	103
Гумат калия	21,8	17,7	12,6	82
NPK (под урожай 30 т/га) + Гумат калия	20,6	16,2	11,7	95
NPK (под урожай 35 т/га) + Гумат калия	19,4	14,5	11,1	112
NPK (под урожай 40 т/га) + Гумат калия	17,5	12,9	10,3	139
$НСР_{05}$	1,1	0,6	0,6	4

16,4 т/га, или 80,8 %, выше, чем в контроле (табл. 4). Минимальный в опыте прирост массы клубней зафиксирован в варианте с применением только гуминового удобрения – 1,3 т/га (6,4 %). Использование отдельно минеральных удобрений повышало урожайность на 7,1 т/га (35,0 %). Комплексное применение минеральных и гуминовых удобрений способствовало увеличению продуктивности клубней на 9,3…16,4 т/га, или на 45,8…80,8 %, по отношению к контролю.

Наименьшая в опыте товарность урожая клубней отмечена в контроле – 79,8 %. В варианте с внесением только минеральных удобрений (под урожай 30 т/га) она возрастала до 82,1 %, с гуминовым удобрениями – до 83,4 %. Совместное использование минеральных удобрений и Гумата калия обеспечивало повышение величины этого показателя до 85,5...86,9 %.

Наибольшее количество сухих веществ накапливали клубни в варианте с применением только гуминовых удобрений – 21,8 %, что было на 0,7 % выше, чем в контроле (табл. 5). При использовании только минеральных удобрений величина этого показателя составляла 20,3 %, а в вариантах с сочетанием такой же дозы с Гуматом калия – 20,6 %. По мере увеличения нормы минеральных удобрений содержание сухих веществ снижалось до 19,4 и 17,5 %.

Максимальное в опыте содержание крахмала, как и сухого вещества, отмечено в варианте с Гуматом калия – 17,7 %, при 17,3 % в контроле. Выход крахмала с 1 га в этих вариантах был равен соответственно 3,82 т/га и 3,5 т/га, а при совместном использовании минеральных удобрений под урожай 35 т/га и гуминовых удобрений благодаря более высокой урожайности – 4,81 т/га. Использование максимальных доз минеральных удобрений приводило к снижению величины этого показателя до 4,73 т/га вследствие большего накопления воды в клубнях.

Самое высокое содержание витамина С в клубнях зафиксировано в варианте с внесением только гуминовых удобрений – 12,6 мг%. Практически столько же его было в контроле – 12,4 мг%. В вариантах с использованием минеральных удобрений как в чистом виде, так и в комплексе с Гуматом калия, содержание аскорбиновой кислоты последовательно снижалось с увеличением дозы NPK.

Максимальное в опыте содержание нитратов в клубнях отмечено в варианте NPK (под урожай 40 т/га) с Гуматом калия – 139 мг/кг, что на 52 мг/кг выше, чем в контроле. В остальной продукции оно составляло от 82 до 112 мг/кг, что значительно ниже предельно допустимых концентраций для этой культуры (250 мг/кг).

Естественная убыль массы клубней в период хранения увеличивалась при повышении норм внесения минеральных удобрений (от 6,8 до 7,9 %) и уменьшалась при использовании Гумата калия (6,2 %). Размеры технического отхода в большей степени зависели от урожайности, однако значения в целом находились на близком уровне. Минимальная в опыте величина этого показателя в 2,8 % отмечена при использовании Гумата калия, и аналогично естественной убыли она возрастала с увеличением нормы удобрений до 3,2 % (табл. 6).

В период хранения отмечали высокие потери клубней от болезней, в основном грибковой природы. Наилучшим образом сохранялся урожай клубней, выращенный с использованием только гуминового удобрения, потери составили 3,0 %. В контроле они достигали 4,9 %. При использовании только минеральных удобрений (NPK под урожай 30 т/га) потери от болезней увеличивались до 6,4 %, а при комплексном использовании минеральных и гуминовых удобрений – до 6,1...7,5 %.

6. Сохранность клубней картофеля сорта Невский за 7 месяцев хранения в зависимости от удобрений (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Потери клубней, %			
	общие	естественная убыль	технический отход	потери от болезней
Без удобрений (контроль)	14,3	6,5	2,9	4,9
NPK (под урожай 30 т/га)	16,2	6,9	2,9	6,4
Гумат калия	12,0	6,2	2,8	3,0
NPK (под урожай 30 т/га) + Гумат калия	15,9	6,8	3,0	6,1
NPK (под урожай 35 т/га) + Гумат калия	17,3	7,2	3,2	6,9
NPK (под урожай 40 т/га) + Гумат калия	18,6	7,9	3,2	7,5
$НСР_{05я}$	0,7	0,4	0,2	0,4

Общие потери клубней в контрольном варианте составляли 14,3 %, при обработке Гуматом калия они были на 2,3 % меньше, а при использовании минеральных удобрений в отдельности и на фоне Гумата калия величина этого показателя возрастала на 1,6...4,3 % по мере роста дозы удобрений. При этом следует отметить, что введение гумата сопровождалось тенденцией снижения уровня потерь на 0,3 %, по сравнению с аналогичной дозой минеральных удобрений без его использования.

Применение минеральных и гуминовых удобрений на картофеле экономически эффективно. Стоимость дополнительного урожая в вариантах с их применением составляла от 21,3 до 157,4 тыс. руб./га, чистый доход – от 19,9 до 112,5 тыс. руб./га при уровне рентабельности 153,8...234,4 % (контроль – 140,9 %). Внесение минеральных удобрений под урожай 30 т/га повышало уровень рентабельности до 177,6 %, а при условии комплексного использования Гумата калия и возрастающих норм минеральных удобрений – до 192,1…234,4 %.

Таким образом, использование гуминовых удобрений при возделывании картофеля в условиях степной зоны Хакасии позволяет сократить период вегетации картофеля на 2...3 дня, тогда как минеральные удобрения, напротив увеличивают его продолжительность.

Применение Гумата калия, минеральных удобрений и их комплексное использование улучшало биометрические и фотосинтетические параметры растений картофеля, что выражалось в увеличении высоты куста на 8,8…26,3 %, средней площади листьев – на 1,3...7,9 тыс. м²/га. В результате продуктивность картофеля возрастала в зависимости от нормы удобрений на 1,3…16,4 т/га (прибавка от 6,4 до 80,8 %), в сравнении с контролем. Комплексное использование удобрений позволяет значительно увеличить выход крахмала с единицы площади.

Применение Гумата калия обеспечивало в период хранения снижение общих потерь клубней, по сравнении с контролем, с 14,3 % до 12,0 %, в том числе от болезней – с 4,9 до 3,0 %, тогда как минеральные удобрения приводили к их увеличению.

Использование минеральных и гуминовых удобрений при возделывании картофеля обеспечивало получение чистого дохода в размере 19,9…112,5 тыс. руб./га при уровне рентабельности 153,8...234,4 %.

Литература.

1. Первые результаты эколого-географического испытания новых российских сортов картофеля / З. Сташевски, О. А. Кузьминова, С. Г. Вологин и др. // Земледелие. 2019. № 6. С. 43–48. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10610.

2. Сорт как фактор повышения урожайности и качества картофеля в условиях степной зоны юга-востока Западной Сибири / Е. П. Кондратенко, О. Б. Константинова, Т. А. Мирошина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 56–60. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11209.

3. Петриченко В. Н., Николаев Г. И. Продуктивность картофеля в зависимости от агрофона, гуминовых удобрений и регуляторов роста растений // Агрохимический вестник. 2012. № 2. С. 28–30.

4. Иванюшин Е. А., Хачукаев Р. С. Эффективность применяемых удобрений на картофеле // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 1 (25). С. 27–30.

5. Влияние регуляторов роста на урожайность и качество картофеля / А. Ф. Петров, Р. Р. Галеев, Н. В. Гаврилец и др. // Вестник НГАУ. 2021. № 2 (59). С.62–72. doi: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-62–72.

6. Лысенко А.Ю. Формирование урожая картофеля при использовании защитных препаратов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 21–25.

7. Шорохов М.Н., Долженко О.В., Долженко В.И. Инсектициды для борьбы с тлями-переносчиками вирусов на картофеле // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 37–40.

8. Плотников А. А., Иванчик В. А. Влияние применения различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах Костромской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 5. С. 33–36. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10506.

9. Integrated nutrient management and formulation of fertilizer prescription equation for recommendation of fertilizers for potato on alluvial soils of eastern India / S. P. Mazumdar, A. R. Saha, B. Majumdar, et al. // Journal of environmental biology. 2020. No. 41 (1). P. 92–100. doi: 10.22438/jeb/41/1/MRN-1131.

10. Елисеев И.П., Елисеева Л.В., Шашкаров Л.Г. Эффективность внесения рого-копытной крошки и трепела под пропашные культуры с последействием на ячмене // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 4 (60). С. 27-32.

11. NPK fertilization and potato tuber seed size on growth, yield and profitability of potato plants / L. R. D. Queiroz, J. Kawakami, M. M. L. Muller, et al. // Horticultura Brasileira. 2013. No. 31 (1). P.119–127. doi: 10.1590/S0102-05362013000100019.

12. Pospisil A., Pospisil M., Svencbir M. Influence of organic and mineral fertilizers on agronomic traits of potato // Poljoprivreda. 2017. No. 23 (1). P. 11–16. doi: 10.18047/poljo.23.1.2.

13. Ghosh U., Hatterman-Valenti, H., Chatterjee A. Russet potato yield, quality, and nitrogen uptake with enhanced efficiency fertilizers // Agronomy journal. 2019. No. 111 (1), P. 200–209. doi: 10.2134/agronj2018.02.0105.

14. Magdalena G., Dariusz M. Losses during storage of potato varieties in relation to weather conditions during the vegetation period and temperatures during long-term storage // American journal of potato research. 2018, No. 95 (2). P. 130–138. doi: 10.1007/s12230-017-9617-x.

15. Potato tuber yield and quality in response to different nitrogen fertilizer application rates under two split doses in an irrigated sandy loam soil / C. M. Ayyub, M. W. Haidar, F. Zulfiqar, et al. // Journal of Plant Nutrition. 2019. No. 42 (15). P. 1850–1860. doi: 10.1080/01904167.2019.1648669.

Influence of fertilizers on productivity, quality and safety of potato during storage in the steppe zone of Khakassia

Vit. V. Chagin[1], V. V. Chagin[2]
[1]Katanov Khakassia State University, prosp. Lenina, 92, Abakan, 655017, Russian Federation
[2]Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Orlikov per., 1/11, Moskva, 107139, Russian Federation

Abstract. *The research aimed to study the effect of mineral and humic fertilizers on the productivity, biochemical composition and safety of potato. The field experiment was laid out in 2018–2020 on dark chestnut soils in the Republic of Khakassia. The design of the experiment included the following options: without fertilizers (the control), potassium humate, mineral fertilizers for the formation of a potato yield of 30 t/ha, potassium humate in combination with mineral fertilizers for the formation of a potato yield of 30, 35 and 40 t/ha. We planted mid-early variety Nevsky. Mineral fertilizers were applied before pre-planting cultivation, humic fertilizers were applied simultaneously with potato planting and at the beginning of the budding phase by spraying. The use of humic fertilizer contributed to an earlier (by 2–3 days) approach of development phases, in contrast to mineral fertilizers, the introduction of which was accompanied by an increase in interphase periods. The combined use of mineral and humic fertilizers partially made it possible to neutralize these effects. When using the complex of fertilizers, the height of potato plants increased by 4.7–14.1 cm, the average leaf area – by 1.3–7.9 thousand m2/ha. Yield increases ranged from 1.3 to 16.4 t/ha (6.4–80.8%). Humic fertilizer contributed to an increase in the accumulation of dry matter, starch and vitamin C in tubers, as well as a decrease in the amount of nitrates, in comparison with mineral fertilizers. The safety of tubers grown in the variant with the use of humates during the storage period was higher by 2.3% than in the control, while in the variant with mineral fertilizers, on the contrary, an increase in losses by 1.6–4.3% was noted, depending on the application rate.*

Keywords: *potato (Solanum tuberosum); mineral fertilizers; humic fertilizers; yield; potato safety.*

Author Details: *Vit. V. Chagin, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof. (e-mail: chagin2008@gmail.com); V. V. Chagin, Cand. Sc. (Biol.), department manager (e-mail: tchagin@mail.ru).*

For citation: *Chagin VitV, Chagin VV [Influence of fertilizers on productivity, quality and safety of potato during storage in the steppe zone of Khakassia]. Zemledelie. 2022; (1):23-6. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-23-26.*

doi:10.24412/0044-3913-2022-1-26-29
УДК 633.15-630.160.2

Срок распашки пласта люцерны под озимую пшеницу в Западном Прикаспии

А. А. ГУСЕЙНОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (e-mail: arsmurat@yandex.ru)
Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, ул. М. Гаджиева, 180, Махачкала, 367032, Российская Федерация

Цель исследований – выбор оптимального срока распашки пласта люцерны под озимую пшеницу, обеспечивающего повышение урожайности зерна и положительное воздействие на плодородие почвы. Работу проводили в 2013–2017 гг. в Республике Дагестан на светло-каштановой почве с содержанием гумуса в пахотном слое 2,77 %, подвижного фосфора – 2,21, калия – 32,8 мг/100 г, плотность – 1,24 г/см³, наименьшая влагоемкость слоя 0…0,6 м – 29,2 %. Исследовали три срока распашки: после четвертого (контроль) и пятого укоса, а также при наступлении фазы бутонизации отавы после пятого укоса. В условиях Западного Прикаспия в оптимальные сроки посева озимой пшеницы (с 20 сентября по 10 октября) можно уложиться после проведения пяти укосов и получения отавы люцерны. Этот срок распашки пласта люцерны обеспечивал дополнительное поступление в почву 2,99 т/га воздушно-сухой надземной фитомассы, 0,45 т/га корневой массы и 1,22 т/га поукосных остатков. Количество поступающего в почву с такой массой азота увеличивалось на 17,2, фосфора – на 18,1, калия – на 18,8 %, по сравнению с контролем. Плотность почвы при этом снижалась на 0,10 г/см³, пористость увеличивалась на 3,9 %, содержание водопрочных агрегатов – на 4,4 %, агрономически ценных агрегатов – на 10,8 %, коэффициент структурности – на 1,2 ед., содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы – на 26,6 %, подвижного фосфора – на 36,8, калия – на 3,1 %, суммарный расход воды на формирование урожая зерна озимой пшеницы в расчете на 1 га снижался на 18,9 %, на 1 т зерна – на 27,8 %. Урожайность зерна при этом увеличивалась, в сравнении с контролем, на 12,3 %.

Ключевые слова: *люцерна (Medicago sativa), озимая пшеница (Triticum aestivum), количество укосов, срок распашки, агрофизические свойства, агрохимические свойства, урожайность.*

Для цитирования: *Гусейнов А. А. Срок распашки пласта люцерны под озимую пшеницу в Западном Прикаспии // Земледелие. 2022. № 1. С. 26–29. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-26-29.*

На орошаемых землях Западного Прикаспия люцерна выступает лучшим предшественником для ведущей зерновой культуры – озимой пшеницы. Существующие рекомендации предлагают распахивать пласт люцерны под эту культуру еще в августе, после 2…4 укосов, в зависимости от того, как быстро справляются в хозяйстве с уборкой каждого укоса [1, 2]. Считается, что за оставшийся период до посева и весенне-летней вегетации озимой пшеницы, растительные остатки люцерны достаточно полно минерализуются и будут способствовать формированию высоких урожаев зерна. Однако столь ранний срок распашки люцернового пласта – за 45…65 дней до посева озимой пшеницы – может привести к ряду неблагоприятных последствий. В частности, возможны потери плодородной почвы на дефляцию, разрушение структурных агрегатов почвы под влиянием атмосферных процессов, не говоря уже о том, какое количество сена и корневых остатков будет недополучено [3].

Цель исследований – выбор оптимального срока распашки пласта люцерны под озимую пшеницу, который обеспечил бы получение более высоких урожаев зерна и положительное воздействие на плодородие почвы в условиях Западного Прикаспия.

Исследования проводили в 2013–2017 гг. на светло-каштановой почве в «ООО Вымпел-2002» Хасавюртовского района Республики Дагестан. Содержание гумуса в пахотном слое (0...30 см) составляло 2,77 %, подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O), определяемых по ГОСТ 26205-91 – 22,1 и 328 мг/кг соответственно, плотность слоя почвы 0…20 см – 1,15 г/см^3, 20…40 см – 1,31, 40…60 см – 1,42 г/см^3, наименьшая влагоемкость (НВ) – соответственно 31,2, 29,7 и 26,3 % (в среднем для слоя почвы 0…60 см – 29,2 %).

Схема опыта предполагала изучение следующих сроков распашки люцернового пласта: 1 – после 4 укоса (контроль, 21…26 июля); 2 – после 5 укоса (13…17 августа); 3 – после пятого укоса при наступлении фазы бутонизации отавы люцерны (12…16 сентября).

При проведении исследований содержание легкогидролизуемого азота в почве определяли по И. В. Тюрину и М. М. Кононовой в 0,5 н. H_2SO_4 (*Л. Н. Александрова, О. А. Найденова. Лабораторно-практическая занятия по почвоведению. Л: Агропромиздат, 1986*), подвижных P_2O_5 и K_2O – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91), плотность сложения, пористость, содержание агрономически наиболее ценных агрегатов, водопрочных агрегатов и коэффициент структурности – в соответствии с действующими рекомендациями (*Практикум по агрохимии /под ред. В. Г. Минеева. М.: МГУ, 2001; Практикум по земледелию / И. П. Васильев, А. М. Туликов, Г. И. Баздырев и др. М.: КолосС, 2005*). Кроме того, выполняли фенологические наблюдения, учет и анализ структуры урожая озимой пшеницы и люцерны (*Федин М. А. Методика государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1985; Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Подгот. Ю. К. Новоселов и др. М.: ВНИИК, 1983*).

Площадь учетной делянки – 100 м^2, повторность 4-кратная. Дисперсионный анализ данных по урожайности люцерны (сена) проводили по методике, изложенной Б.А. Доспеховым (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985. 365 с.*).

Вспашку под озимую пшеницу осуществляли за 15…20 дней до наступления оптимального срока посева на глубину 20…22 см плугом ПЛН-4-35, выравнивали поверхность почвы выравнивателем МВ-6. Под вспашку вносили P_{40}, при посеве с семенами – P_{10}, под предпосевную обработку почвы – N_{30}, столько же в подкормку весной в фазе кущения. Калийные удобрения, учитывая достаточное содержание подвижного калия в почве, не вносили. Влагозарядковый полив проводили из расчета увлажнения слоя почвы 0…60 см по полосам с боковым пуском воды вручную, предпосевную обработку – тяжелыми зубовыми боронами при наступлении физической спелости почвы после влагозарядкового полива, при которой обрабатываемый (0...10 см) слой хорошо крошится, не образуя комков сырой или сухой почвы, посев озимой пшеницы сорта Гром выполняли в первой декаде октября нормой высева –5 млн всхожих семян на 1 га.

Люцерну в условиях Западного Прикаспия выращивают только на орошении, где она за вегетационный период может формировать до пяти укосов. При этом, как показали результаты проведенных нами ранее и другими авторами исследований, около 40 % урожая приходится на первый укос, 30...32 % – на второй, доля последних трех укосов в общем урожае сена составляет соответственно 15…20, 10…12 и 5…8 %. То есть при распашке пласта люцерны после четвертого укоса будет недополучено 5…8 % урожая сена, а также соответствующее количество поукосных остатков и корневой массы. В наших исследованиях пятый укос дополнительно давал в среднем 1,32 т/га сена (7 % всего урожая), 0,37 т/га корневой массы и 0,08 т/га поукосных остатков, а в случае распашки пласта в фазе бутонизации отавы после пятого укоса – 1,06 т/га воздушно-сухой массы отросшей отавы, 0,08 т/га поукосных остатков и 0,08 т/га корневой массы (табл. 1).

В целом при распашке пласта после пятого укоса, по сравнению с проведением этой технологической операции после четвертого укоса, накопление фитомассы увеличивается на 10,7 %, в том числе ее не отчуждаемой из почвы части – на 2,7 %. Наиболее эффективен в отношении накопления дополнительного количества фитомассы вариант с распашкой отавы люцернового пласта, сформировавшейся после уборки 5 укоса. При таком сроке распашке она возрастает, по сравнению с контролем, соответственно на 18,1 % и 10,1%. При этом, по мнению ряда исследователей, накопление пожнивно-корневых остатков и зеленой массы сидератов в современных условиях служит основным фактором увеличения содержания питательных элементов в почве [4, 5].

Распашка пласта люцерны позже, чем после уборки четвертого укоса, способствует накоплению в почве дополнительного количества питательных элементов. Концентрация азота (N) в сене люцерны за годы исследований по вариантам опыта существенно не менялась и составляла в среднем 2,08 %, в поукосных остатках – 2,01 %, в корнях – 2,20 %, фосфора (P_2O_5) – 0,57, 0,43 и 0,60 %, калия (K_2O) – 1,38, 0,89 и 1,40 % соответственно. Поэтому накопление этих элементов в почве всецело зависело от количества запахиваемой в почву растительной массы (табл. 2).

Вспашка поле пятого укоса повышала поступление азота (N) в почву, по сравнению с контролем, на 10,5 %, фосфора (P_2O_5) – на 10,0 и калия (K_2O) – на 11,4 %. В варианте с подъемом пласта люцерны при запашке фитомассы отавы, сформировавшейся после пятого укоса, количество поступающих со всей совокупной биомассой питательных элементов воз-

1. Влияние срока распашки пласта люцерны на накопление растительного вещества в слое почвы 0…30 см (среднее за 2013–2015 гг.), т/га воздушно-сухой массы

Срок распашки	Сено	Поукосные остатки	Корни	Фитомасса	
				всего	не отчуждаемая из почвы
После 4 укоса	0,0	4,23	12,25	16,48	16,48
После 5 укоса	1,32	4,31	12,62	18,25	16,93
По достижении отавой после 5 укоса фазы бутонизации	1,32	5,45	12,70	19,47	18,15
$НСР_{05}$	0,43	0,08	0,15		

2. Поступление питательных элементов в почву с фитомассой люцерны в зависимости от срока распашки ее пласта (среднее за 2013–2015 гг.)

Срок распашки	Элемент	Поступление питательных элементов, кг/га			Фитомасса, т/га	
		сено	поукосные остатки	корни	всего	не отчуждаемая из почвы
После 4 укоса	N	0,0	85,0	269,5	354,5	354,5
	P_2O_5	0,0	18,2	73,5	91,7	91,7
	K_2O	0,0	37,6	171,5	209,1	209,1
После 5 укоса	N	27,5	86,6	277,6	391,7	364,2
	P_2O_5	7,5	18,5	75,7	101,7	94,2
	K_2O	18,2	38,4	176,7	233,3	215,1
По достижении отавой после 5 укоса фазы бутонизации	N	27,5	110,2	285,8	423,5	396,0
	P_2O_5	7,5	25,0	77,9	110,4	102,9
	K_2O	18,2	53,6	181,9	253,7	235,5

растало, по сравнению с контролем, на 17,2, 18,1 и 18,8 % соответственно.

Увеличение поступления растительного вещества в почву при распашке пласта люцерны после 5 укоса, и особенно в варианте с отрастанием отавы после этого укоса, способствовало улучшению агрохимических и водно-физических показателей плодородия пахотного слоя. Плотность почвы, по сравнению с контролем, в варианте с самым поздним сроком распашки снизилась на 0,10 г/см³ (7,8 %), пористость увеличилась на 3,9 %, содержание наиболее ценных в агрономическом отношении агрегатов увеличилось – на 11,8 %, водопрочных агрегатов – на 4,4 %, коэффициент структурности повысился – на 1,2 единицы. Улучшился и питательный режим почвы. При распашке после пятого укоса содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы увеличилось, по сравнению с контролем, на 15,1 % (на 5,8 мг/кг), подвижного P_2O_5 – на 10,0 % (на 2,2 мг/кг), подвижного K_2O – на 2,8 % (на 9,0 мг/кг). В варианте с обработкой почвы в фазе бутонизации отавы люцерны после пятого укоса величины этих показателей возросли соответственно на 26,6, 36,8 и 3,1 % (табл. 3).

3. Влияние срока распашки пласта люцерны на агрофизические и агрохимические свойства почвы (0…30 см) в фазе колошения озимой пшеницы (среднее за 2014–2016 гг.)

Показатель	Срок распашки пласта люцерны		
	после 4 укоса	после 5 укоса	по достижении отавой после 5 укоса фазы бутонизации
Плотность, г/см³	1,28	1,24	1,18
Пористость, %	51,1	52,7	55,0
Содержание агрегатов, %:			
водопрочных	38,9	41,6	43,3
агрономически ценных	63,5	71,2	75,3
коэффициент структурности	1,7	2,4	2,9
Содержание питательных элементов, мг/кг:			
N легкогиролизуемый	38,4	44,2	48,6
P_2O_5 подвижный	22,0	24,2	30,1
K_2O подвижный	321,0	330,0	331,0

Таким образом, в ирригационных ландшафтах Западного Прикаспия распашка пласта люцерны после образования отавы пятого укоса выступает более эффективным способом повышения плодородия почвы, по сравнению с проведением этой технологической операции сразу после пятого и, особенно, четвертого укоса. В этой связи важно рассмотреть вопрос о влиянии сроков распашки пласта люцерны на водный режим и водопотребление озимой пшеницы. Влажность почвы перед ее обработкой в первый срок составляла 62,4 % НВ, во второй – 68,9, в третий – 61,0 % НВ. Поэтому для увлажнения слоя почвы 0…60 см перед посевом озимой пшеницы было подано разное количество воды – соответственно 840, 700 и 870 м³/га, а оросительные нормы составили 1400, 1360 и 1430 м³/га.

После влагозарядкового полива и до наступления фазы выхода растений озимой пшеницы в трубку влажность слоя почвы 0…60 см составляла 74,9…75,2 %. Поддержанию величины этого показателя на таком высоком уровне способствовали осадки, которые выпали за осенне-зимний и весенне-летний периоды. Поэтому нормы вегетационных поливов озимой пшеницы были одинаковыми по всем вариантам. В последующий период вегетации озимой пшеницы и до уборки урожая влажность почвы поддерживали посредством вегетационных поливов не ниже 72,8…73,3 %.

Учет суммарного водопотребления озимой пшеницы в зависимости от срока распашки пласта предшествующей люцерны показал, что его величина в варианте со вторым сроком распашки снижалась, по сравнению с контролем, на 12,5 %, а в варианте с третьим сроком – на 18,9% (табл. 4). Повышение урожайности озимой пшеницы при одновременном снижении суммарного водопотребления привело к уменьшению коэффициента водопотребления соответственно на 17,9 и 27,8 %, что свидетельствует о предпочтительности более поздней распашки пласта люцерны под озимую пшеницу в условиях орошаемого земледелия Западного Прикаспия и с точки зрения экономии поливной воды

Засоренность посевов озимой пшеницы (табл. 5) при всех сроках распашки пласта люцерны была невысокой (5...10 экз./м²), поскольку в этом отношении ее считают одним из лучшим предшественником [6, 7]. Снижение засоренности посевов в вариантах с более поздним сроком распашки пласта люцерны обусловлено сокращением времени для прохождения физиологического дозревания семян сорной растительности после их попадания на поверхность почвы при вспашке. Известно, что физиологическое дозревание основной части семян естественного фитоценоза проходит на глубине 0…3 см при наличии дневного света, как минимум, в течение 2…3 месяцев. По этой причине при максимальном приближении срока вспашки к дате посева последующей культуры засоренность агрофитоценозов снижается [2].

Основные болезни, которыми поражается озимая пшеница в условиях Западного Прикаспия, – корневые гнили, среди которых наибольшей патогенностью отличаются *Ophiobolus gramines Soc*. и *Fusarium avenacum* [3]. Общепризнанным способом снижения инфицированности почвы этими болезнями служит ежегодное чередование сильно поражаемых культур в севообороте с менее поражаемыми – кукурузой, корнеплодами, подсолнечником, сахарным и зерновым сорго и др.

Относительно невысокий уровень пораженности растений озимой пшеницы корневыми гнилями после люцерны можно объяснить антагонизмом во взаимоотношениях возбудителей заболевания и почвенной микрофлоры.

4. Влияние срока распашки пласта люцерны на водопотребление озимой пшеницы (среднее за 2014–2017 гг.), м³/га

Срок распашки	Запас воды в почве до посева	Оросительная норма	Осадки	Остаток воды в почве после уборки урожая	Суммарное водопотребление	Коэффициент водопотребления
После 4 укоса	1400	1400	2120	1630	3750	678,1
После 5 укоса	1370	1360	2200	1650	3280	555,9
По достижении отавой после 5 укоса фазы бутонизации	1550	1430	1710	1650	3040	489,5

5. Засоренность посевов озимой пшеницы сорняками (экз./м²) и пораженность растений корневыми гнилями (%) в зависимости от срока распашки пласта люцерны (среднее за 2014–2016 гг.)

Срок распашки	Засоренность	Распространение болезней	Развитие болезней
После 4 укоса	10	16,9	5,8
После 5 укоса	6	14,6	4,6
По достижении отавой после 5 укоса фазы бутонизации	5	11,5	4,0
$НСР_{05}$	1,3	1,9	1,6

Считается, что доля антагонистов в южных районах страны в 1,9…2,3 раза выше, чем в северных. При этом чем больше в почве органического вещества, тем интенсивнее увеличивается численность почвенных микроорганизмов, усиливается конкуренция за питательный субстрат, а в почве, богатой органическими остатками, бактерии и актиномицеты паразитируют на гифах *Ophiobolus gramines* Soc. [4, 6, 8]. Этим, вероятно, объясняется снижение пораженности растений озимой пшеницы корневыми гнилями при самом позднем сроке распашки люцерны, по сравнению со вторым и, особенно, с первым.

6. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от срока распашки пласта люцерны, т/га

Срок распашки	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Средняя
После 4 укоса	5,39	5,62	5,57	5,53
После 5 укоса	5,87	6,04	5,78	5,90
По достижении отавой после 5 укоса фазы бутонизации	6,17	6,36	6,11	6,21
$НСР_{05}$	0,34	0,29	0,33	

Существует мнение, что из-за недостаточной продолжительности периода времени от распашки пласта люцерны до посева озимой пшеницы могут быть возражения ученых и практиков в том, что это может отрицательно сказаться на урожайности последней вследствие недостаточно полного разложения органической массы люцерны и, соответственно, недостатка питательных элементов в почве. Такие случаи действительно возможны при размещении озимой пшеницы после других предшественников (кукурузы, подсолнечника, сорго, суданской травы), которые более полно используют запасы питательных элементов из почвы. Люцерна отличается от них тем, что за 2…3 года выращивания она накапливает в почве достаточно питательных элементов, благодаря ежегодному разложению корней, которых она накапливает намного больше, чем перечисленные культуры [9]. Кроме того, недостаток питательных элементов в почве компенсирует внесение минеральных удобрений. Наши данные показывают (табл. 6), что сокращение периода времени между основной обработкой почвы после люцерны и посевом озимой пшеницы не только не приводит к снижению урожайности, а, напротив, способствует ее повышению на 6,7…12,3 %.

Таким образом, используемые в последние годы сроки распашки пласта люцерны после четвертого укоса недостаточно обоснованы с позиции влияния их на агрофизические и агрохимические показатели плодородия почвы, рационального использования поливной воды и урожайности последующей в севообороте озимой пшеницы. В условиях Западного Прикаспия в оптимальные сроки посева озимой пшеницы (с 20 сентября по 10 октября) можно уложиться при распашке пласта люцерны после отрастания отавы (1 т/га воздушно-сухой массы) до фазы бутонизации после пятого укоса. Это обеспечивает дополнительное поступление в почву 3,28 т/га растительной массы люцерны, включая поукосные остатки и корни, улучшение водно-физических и агрохимических свойств почвы, экономию поливной воды и повышение урожайности озимой пшеницы на 0,68 т/га зерна (12,3%), в сравнении с распашкой пласта после четвертого укоса.

Литература.

1. Пенчуков В. М., Передериева В. М., Власова О. И. Биологизированные севообороты – эффективный путь сохранения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур // Вестник АПК Ставрополья. 2012. Т. 4. № 8. С. 114–118.

2. Гасанов Г. Н., Бексултанов А. А., Гаджиев К. М. Продуктивность люцерны в зависимости от систем обработки лугово-каштановой почвы Терско-Сулакской подпровинции // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 6. С. 36–38.

3. Власова О. И. Плодородие черноземных почв и приемы его воспроизводства в условиях Центрального Предкавказья: монография. Ставрополь: АГРУС, 2014. 308 с.

4. Гамзиков Г. П., Сулейменов С. З. Влияние биомассы растений на азотный режим серой лесной почвы и продуктивность полевых культур // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С.32–36.

5. Рабинович Г.Ю., Зинковская Т.С., Анциферова О.Н. Биомелиорация на осушаемых землях // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 2. С. 3–8.

6. Пакина Е. Н., Гасанов Г. Н. Люцерна в севооборотах Западного Прикаспия // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 2 (46). С. 79–84.

7. Влияние биологизированных севооборотов на агрофизические свойства почвы, засоренность посевов и продуктивность пашни в условиях засушливой степи Южного Урала / Я.З. Каипов, З.Р. Султангазин, Х.М. Сафин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 10. С. 51–55.

8. Эффективность азотных удобрений и система защиты растений при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве / А. Ю. Шатохин, А. А. Подлипная, Е. Н. Пакина и др. // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 27–32.

9. Продуктивность звеньев севооборота с люцерной разных сроков посева, норм высева семян и способов выращивания в Терско-Сулакской низменности Прикаспия / А. А. Гусейнов, М. А. Арсланов, Г. Н. Гасанов и др. // Земледелие. 2017. № 7. С. 29–33.

The term of ploughing the alfalfa crops before winter wheat growing in the Western Caspian region

A. A. Guseynov
Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University, ul. M. Gadzhieva, 180, Makhachkala, 367032, Russian Federation

Abstract. *The study aimed to choose the optimal period for ploughing the alfalfa crops before winter wheat growing, which ensures an increase in grain yield and positively affects soil fertility. The work was carried out in 2013–2017 in the Republic of Dagestan on light chestnut soil with a humus content in the arable layer of 2.77%, mobile phosphorus – 2.21 mg/100 g, potassium – 32.8 mg 100 g, density was 1.24 g/cm3, the field moisture capacity of the layer of 0–0.6 m was 29.2%. Three periods of ploughing were studied: after the fourth (control) and fifth mowings, as well as the budding phase after the fifth mowing. Under the conditions of the Western Caspian region, the optimal time for sowing winter wheat (from September 20 to October 10) can be met after five mowings and after harvesting alfalfa. This period of ploughing alfalfa crops ensured an additional supply of 2.99 t/ha of air-dry aboveground phytomass, 0.45 t/ha of root mass and 1.22 t/ha of crop residues to the soil. The amount of nitrogen entering the soil with such a mass increased by 17.2%, phosphorus – by 18.1%, potassium – by 18.8%, compared with the control. At the same time, the density of the soil decreased by 0.10 g/cm3. The porosity increased by 3.9%, the content of water-stable aggregates – by 4.4%, of agronomically valuable aggregates – by 10.8%, the structural coefficient – by 1.2 units, the content of easily hydrolysable nitrogen in the arable layer of the soil – by 26.6%, mobile phosphorus – by 36.8%, potassium – by 3.1%. The total water consumption for the formation of the winter wheat grain yield per 1 ha decreased by 18.9 %, per 1 ton of grain – by 27.8%. At the same time, the grain yield increased, in comparison with the control, by 12.3%.*

Keywords: *alfalfa (Medicago sativa); winter wheat (Triticum aestivum); number of mowings; ploughing period; agrophysical properties; agrochemical properties; yield.*

Author Details: *A. A. Guseynov, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof. (e-mail: arsmurat@yandex.ru).*

For citation: *Guseynov AA [The term of ploughing the alfalfa crops before winter wheat growing in the Western Caspian region]. Zemledelie. 2022; (1):26-9. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-26-29.*

doi:10.24412/0044-3913-2022-1-30-34
УДК 551.588+633.15:631.5

Региональные изменения климата и технология выращивания кукурузы на зерно на Южном Урале

А. Э. ПАНФИЛОВ[1], доктор сельскохозяйственных наук, профессор (e-mail: al_panfilov@mail.ru)
П. Ю. ОВЧИННИКОВ[2], аспирант (e-mail: ovchinnikov-paha@mail.ru)
[1]Южно-Уральский государственный аграрный университет, ул. Гагарина, 13, Троицк, Челябинская обл., 457100, Российская Федерация
[2]Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Белинского, 112а, Екатеринбург, 620142, Российская Федерация

Исследования проведены с целью анализа многолетних тенденций изменения климата и варьирования погодных условий Южного Урала для оценки их влияния на выбор гибридов, основные элементы технологии возделывания и продуктивность кукурузы на зерно. Выполнен анализ варьирования метеоусловий по данным метеостанций Шатрово и Курган (северная и южная лесостепная зоны) Курганской области и метеостанции села Бреды (степная зона) Челябинской области за период с 1940 по 2020 гг. Исходные данные по урожайности и уборочной влажности зерна кукурузы получены в экологическом испытании гибридов в 1984–2020 гг. По результатам множественного регрессионного анализа в условиях Южного Урала урожайность кукурузы обусловлена взаимодействием сумм активных температур выше +10 °С и осадков за май–август. Многолетние изменения величин этих показателей проявляются в виде ежегодного прироста суммы температур выше +10 °С в северной лесостепной в среднем на 0,87 °С, в южной лесостепной – на 0,90 °С, в степной зоне – на 1,13 °С, суммы осадков – соответственно на 0,16, 0,18 и 0,21 мм. Следствие выявленных тенденций – увеличение урожайности зерна в среднем на 0,02 т/га и снижение его уборочной влажности на 0,03 % в год. Статистическая недоказанность линейных трендов сумм активных температур, осадков, урожайности и влажности зерна позволяет заключить, что для всей территории региона остаются актуальными прежние технологические рекомендации. Выявленные тенденции подлежат периодическому уточнению с учетом дальнейшего развития динамики климатических изменений.

Ключевые слова: *кукуруза (Zea mais L.), технология, почвенно-климатические зоны, сумма активных температур, осадки, урожайность зерна, динамика, варьирование.*

Для цитирования: *Панфилов А. Э., Овчинников П. Ю. Региональные изменения климата и технология выращивания кукурузы на зерно на Южном Урале // Земледелие. 2022. №1. С. 30–34. doi:10.24412/0044-3913-2022-1-30-34.*

Кукуруза на Урале – основной источник обменной энергии и транзитного крахмала в рационах крупного рогатого скота [1]. При столь значительной роли эта культура при выращивании на зерно остается локально адаптированной к климатическим условиям региона. Главный фактор, лимитирующий ее рост, развитие и продуктивность – общий дефицит тепла. Это имеет решающее значение при обосновании технологии возделывания кукурузы, ограничивая, в частности, выбор гибридов группой ФАО 120…170 [2, 3]. Вместе с тем, даже при выращивании наиболее скороспелых гибридов эффективное использование ресурсов тепла достигается при условии сравнительно ранних сроков посева культуры (как правило, не позднее 10 мая) [4]. Более поздний посев ведет к регулярному недоиспользованию от 140 до 180 °С активных температур. При этом следствием посева семян в не вполне прогретую почву становятся повышенные требования к холодостойкости гибридов [5] и обострение конкурентных отношений между культурой и сорными растениями: значительная часть ранних яровых и практически все поздние яровые виды сорняков всходят после посева или после всходов культуры, что резко снижает результативность профилактических приемов их контроля и сводит защиту растений к комплексу оперативных мер [6]. Другая причина повышенной вредоносности сорняков заключается в относительно низкой облиственности раннеспелых и ультраранних гибридов, создающих заведомо низкое проективное покрытие, что, в свою очередь, приводит к увеличению продолжительности гербакритического периода кукурузы [7]. Оба описанных обстоятельства диктуют необходимость разработки системы длительного контроля засоренности посевов [8, 9]. Поэтому ключевые элементы технологии направлены на адаптацию кукурузы к регулярному и периодическому дефициту тепла или включаются в технологическую схему для компенсации некоторых негативных последствий этой адаптации.

Обусловленность агротехнологий климатическими характеристиками зоны возделывания ставит вопрос о возможных коррективах выбора гибридов и основных приемов возделывания кукурузы на зерно, вызванных современными тенденциями глобального изменения климата. Количественные параметры этого процесса вытекают из модели M. E. Mann, et al. [10], которая описывает увеличение среднегодовой температуры воздуха на планете примерно с конца 50-х гг. XX века. В ходе научной дискуссии, вызванной этой публикацией, обсуждаются три основных вопроса: растет ли температура атмосферы в действительности; об антропогенной природе этого роста; о последствиях такого роста для человечества. В современных условиях первый пункт дискуссии трактуется как вопрос о сохранении тенденции в ближайшей и отдаленной перспективе [11], а также о географических масштабах явления. Так, по мнению M. Helbig, et al., [12], потепление касается главным образом бореальных областей. В вопросе о природе потепления, наряду с более распространенной гипотезой о его антропогенном характере [13, 14, 15], высказываются мнения о возможных естественных причинах [16, 17]. Отметим, что в рамках нашего исследования прикладной интерес представляет лишь вопрос о последствиях глобального потепления, причем в узкой трактовке: требуют ли изменения климата внесения корректив в сложившиеся подходы к выбору сортов сельскохозяйственных культур и к обоснованию технологий их возделывания в различных почвенно-климатических зонах?

Такая формулировка сужает предмет исследований до отдельных характеристик периода вегетации: анализу подлежат климатические и погодные параметры, от варьирования которых зависят развитие и продукционный процесс конкретных культур. В исследованиях, проведенных на территории Центрального Черноземья, Поволжья, Нечерноземной зоны, выявлены многолетние тенденции изменения таких характеристик, как средняя температура, сумма активных температур и осадков за период вегетации, гидротермический коэффициент, коэффициент увлажнения и другие, а также связь этих показателей с урожайностью и качеством производимой продукции для зерновых и ряда кормовых культур [18, 19, 20]. В большинстве случаев авторы приходят к заключению о необходимости переоценки природных ресурсов, сортового состава, пересмотра существующих технологий и систем земледелия. Для условий Челябинской области А. А. Грязнов [21] делает вывод о наличии климатических тенденций, положительных для сельскохозяйственного производства региона. В частности, изменение распределения осадков в летние месяцы обеспечивает более широкое маневрирование сро-

ками посева зерновых культур, а общее смягчение климата Южного Урала позволяет расширить площадь, занимаемую озимой пшеницей.

Рассматривая проблему адаптации кукурузы к меняющемуся климату Урала, необходимо учитывать, что ее урожайность, а также качество производимого корма в большей степени, чем у основных культур, возделываемых в регионе, зависят от общих ресурсов тепла. Резкие колебания урожайности зерна связаны и с периодическим недостатком влаги [22]. Кроме того, влияние климата на сельскохозяйственное производство реализуется не напрямую, а опосредовано погодными условиями, подверженными сильному варьированию как в течение отдельных сезонов, так и в многолетнем аспекте. По мнению А. А. Жученко [23], в маргинальных климатических условиях подбор сортов и обоснование агротехнологий должны быть направлены на адаптацию культур не к оптимальным, а к минимальным значениям лимитирующих факторов среды. Поэтому при анализе существующих тенденций следует рассматривать не только длительные тренды, но и характер колебаний хозяйственно значимых метеорологических параметров на фоне этих трендов.

Цель исследований – анализ многолетних тенденций изменения климата и варьирования погодных условий Южного Урала для оценки их влияния на выбор гибридов, основные элементы технологии возделывания и продуктивность кукурузы на зерно.

Исходные данные по урожайности и уборочной влажности зерна кукурузы для выявления хозяйственно значимых метеорологических параметров получены в полевых опытах по экологическому испытанию сортов и гибридов, выполненных в Курганском НИИСХ и Южно-Уральском ГАУ в период с 1984 по 2020 гг. Площадь делянки в испытании – 10 м^2, повторность опыта – 3-кратная, технология – рекомендуемая для зоны. В качестве интегрированного отклика кукурузы на изучаемые процессы использовали биологическую урожайность зерна двух раннеспелых гибридов в экологическом испытании Курганского НИИСХ и Южно-Уральского ГАУ – Днепровский 141Т (1984–2002 гг.) и Росс 140СВ (2003–2020 гг.), относящихся к одному классу созревания (ФАО 170). В течение всего периода испытаний выдерживали единый агротехнический фон, что позволяет рассматривать изменения урожайности по годам как функцию гидротермических условий. Для анализа тенденций варьирования метеоусловий использовали данные метеостанций Шатрово и Курган (соответственно северная и южная лесостепная зоны) Курганской области, а также метеостанции села Бреды (степная зона) Челябинской области за период с 1940 по 2020 гг.

1. Зависимость зерновой продуктивности кукурузы от гидротермических условий (Курганский НИИСХ, 1984–1997 гг.; Южно-Уральский ГАУ, 1998–2020 гг.)

Фактор	Коэффициент корреляции
Сумма активных температур (май-август)	0,26
Сумма осадков (май-август)	0,44*
Сумма активных температур (май-сентябрь)	0,13
Сумма осадков (май-сентябрь)	0,40
Запасы продуктивной влаги в начале вегетации	0,15
Запасы продуктивной влаги в фазу выметывания	0,31
Сумма активных температур + сумма осадков (май-август)	0,97*
Сумма активных температур + сумма осадков (май-август) + сумма осадков (июнь)	0,96*
Сумма активных температур + сумма осадков (май-сентябрь)	0,90*
Сумма активных температур (май-август) + запасы продуктивной влаги в начале вегетации	0,38
Сумма активных температур (май-август) + запасы продуктивной влаги в фазу выметывания	0,70*
Сумма активных температур + сумма осадков (май-август) + запасы продуктивной влаги в начале вегетации	0,70*

**Достоверно на 5 %-ном уровне значимости.*

Проверку статистических гипотез проводили методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов. О достоверности различий между групповыми средними судили по критерию Фишера (F). Значимость коэффициентов корреляции и регрессии оценивали по величине ошибок этих параметров (S_r, S_b) и критерию Стьюдента (t). Уровень значимости критических значений статистических параметров $p = 0,05$.

Для выявления метеорологических параметров, значимых для формирования урожая кукурузы, изучены связи продуктивности раннеспелых гибридов с некоторыми показателями гидротермических условий. В результате множественного корреляционного анализа установлено, что в условиях Южного Урала урожайность кукурузы в наибольшей степени связана с взаимодействием сумм активных температур выше +10 °С и осадков за май–август (табл. 1). Это взаимодействие имеет сложный характер, поскольку обе переменные в зависимости от принимаемых ими значений могут оказывать на урожайность как положительное, так и отрицательное влияние, и описывается следующим уравнением:

$$y = 19,34 - 0,0465p + 2,15\cdot10^{-5}p^2 - 5,32\cdot10^{-4}/t + 3,37\cdot10^{7}t^2 - 69,55p/t, \quad (1)$$

где y – урожайность, т/га; p – сумма осадков за май–август, мм; t – сумма активных температур выше +10 °С за май–август, градусов.

Учет дополнительных факторов (температура и осадки июня и сентября, запасы продуктивной влаги в почве в начале вегетации и в фазе выметывания) и их взаимодействия не приводил к увеличению коэффициента корреляции. Обусловленность урожайности кукурузы в регионе всего двумя факторами может быть объяснена жестким лимитирующим влиянием ресурсов тепла, которое нивелирует действие большинства менее значимых факторов.

Расчет линейного тренда показал, что в северной лесостепи в период с

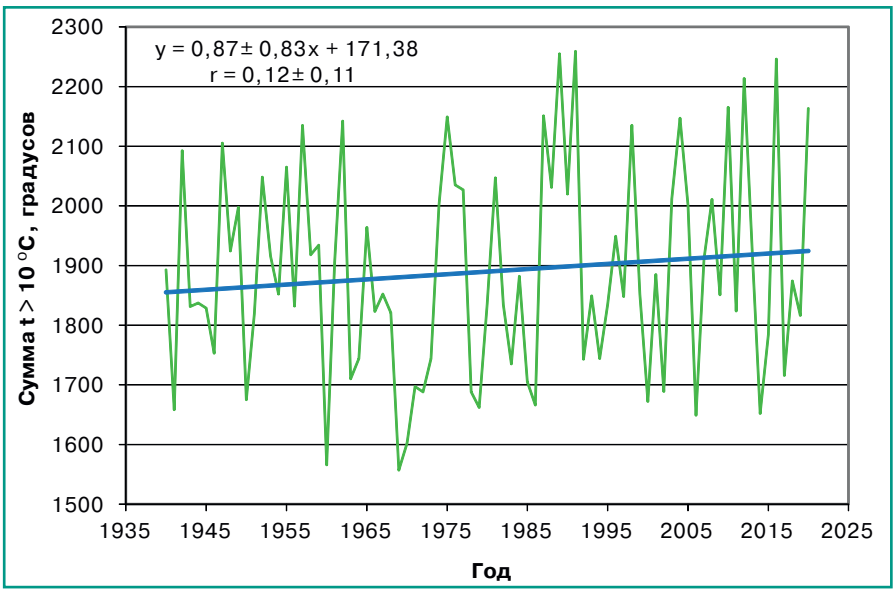


Рис. 1. Варьирование и тренд суммы активных температур в северной лесостепной зоне, °С.

2. Результаты статистического анализа варьирования суммы активных температур в почвенно-климатических зонах Южного Урала (1940–2020 гг.)

Показатель	Зона		
	северная лесостепная	южная лесостепная	степная
Результаты корреляционно-регрессионного анализа			
Средняя сумма $t > +10$ °С, градусов	1889	2011	2160
Расчетный прирост за анализируемый период, °С	69	72	85
Коэффициент регрессии b	0,87±0,83	0,90±0,83	1,02±0,86
Коэффициент корреляции r	0,12±0,11	0,12±0,11	0,13±0,11
Критерий Стьюдента t_r (t_{05}=1,99)	1,05	1,07	1,19
Результаты дисперсионного анализа			
Межгрупповая дисперсия	29409	19111	40298
Внутригрупповая дисперсия	30715	32390	38801
Критерий Фишера $F_ф$ (F_{05} = 2,07)	0,96	0,59	1,04

1940 по 2020 гг. ежегодный прирост суммы температур выше +10 °С, соответствующий величине коэффициента регрессии, составил в среднем 0,87 °С (рис. 1), а ее расчетные (по тренду) значения возросли с 1855 до 1925 °С (на 69 °С за весь период наблюдений). Аналогичные по содержанию результаты получены для южной лесостепной и степной зон: коэффициенты регрессии были равны соответственно 0,90 и 1,13, прирост ресурсов тепла за период – 72 и 85 °С (табл. 2). Учитывая то, что основные классы гибридов кукурузы по скороспелости (раннеспелые, среднеранние, среднеспелые и др.) различаются по потребности в сумме активных температур между собой на 150…200 °С [24], выявленные многолетние изменения обеспеченности периода вегетации теплом не дают оснований для пересмотра рекомендаций по выбору гибридов для региона.

Кроме того, значительные колебания величины этого показателя по годам приводят к низким значениям коэффициента корреляции (от 0,12 до 0,13) при его недоказанности по критерию Стьюдента ($t_r < t_{05}$). Статистическая незначимость линейного тренда температуры приземного воздуха для летнего периода в Уральском регионе за 1976–2019 гг. отмечена и в Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 г. [25]. Из этого же источника вытекает, что вклад тренда в общую дисперсию колебаний температуры не превышает 11 %.

Напротив, в традиционных для возделывания кукурузы на зерно регионах (Ростовская область, Республика Крым, Центральное Черноземье) установлена статистически доказанная динамика потепления периода вегетации [26, 27, 28], однако в этих сообщениях не содержится выводов о необходимости пересмотра технологических рекомендаций.

Для оценки соотношения тренда и случайного варьирования температурного фактора метеоданные за 81 год для трех зон были разбиты на 9 групп (периодов), каждая из которых включает 9 лет; при этом групповые средние отражают многолетнюю климатическую тенденцию, тогда как внутригрупповое варьирование сумм температур характеризует колебания погодной составляющей, которая и оказывает непосредственное влияние на развитие и продукционный процесс кукурузы. Полученный статистический комплекс был подвергнут дисперсионному анализу, по результатам которого в северной и южной лесостепных зонах внутригрупповая дисперсия превышает межгрупповую, а в степи сопоставима с ней (см. табл. 2). Следовательно, во всех трех пунктах различия между группами лет по средней сумме активных температур не доказаны по критерию Фишера. Необходимо отметить, что статистическая недоказанность температурного тренда не свидетельствует о его отсутствии, поэтому проведенный анализ не рассматривается как элемент научной дискуссии о глобальном потеплении.

Следовательно, как корреляционно-регрессионный, так и дисперсионный анализы показывают, что общее варьирование ресурсов тепла в большей степени определяется случайными колебаниями, чем многолетним температурным трендом. Ранее отмечено, что непосредственное влияние на урожайность и качественные характеристики продукции оказывают именно случайные колебания природных факторов, а лимитирующим выступает нижний предел этих колебаний. Для его оценки проведен анализ внутригруппового варьирования суммы температур выше +10 °С (табл. 3). В северной лесостепи в большинстве из анализируемых периодов (групп лет) минимальные значения величины этого показателя находились в диапазоне от 1649 до 1675 °С. Статистически недоказанная тенденция его прироста с коэффициентом корреляции 0,22 связана с наличием лишь двух аномально холодных сезонов в 1969 и 1978 гг. с суммами температур соответственно 1557 и 1566 °С. Как в предшествующий, так и в последующие периоды заметных различий по минимальным ресурсам тепла между группами лет не отмечали.

Наиболее выраженный прирост (r = 0,52) установлен в отношении максимальных для периодов сумм температур. Именно с этим связан показанный ранее тренд общего потепления периода вегетации (см. рис. 1). Как следствие описанных тенденций, отмечено некоторое увеличение коэффициентов внутригрупповой вариации анализируемого фактора, что свидетельствует о снижении стабильности в обеспеченности растений теплом. Судя по значениям коэффициентов корреляции, аналогичная ситуация сложилась в южной лесостепной и степной зонах: принципиальные отличия состоят лишь в величине абсолютных минимумов (соответственно 1630 и 1865 °С).

Рассматривая гидротермическую ситуацию степной и южной лесостепной зон Челябинской области за период с 1931 по 2013 гг., А. А. Грязнов [21], в частности, отмечает снижение вероятности июньской засухи. По мнению автора, это создает благоприятные условия для раннего посева зерновых хлебов первой группы, что, в свою очередь, обеспечивает завершение полевых работ на более стабильном погодном фоне. Принципиальное отличие кукурузы заключается в слабой зависимости урожайности от

3. Анализ внутригруппового варьирования суммы температур выше +10 °С

Период (группа лет)	Сумма $t > +10$ °С, градусов			Коэффициент вариации v, %
	минимальная	максимальная	средняя	
Северная лесостепь				
1940–1948 гг.	1658	2105	1880	7,9
1949–1957 гг.	1675	2135	1927	7,6
1958–1966 гг.	1566	2142	1856	9,0
1967–1975 гг.	1557	2149	1790	10,6
1976–1984 гг.	1662	2047	1861	8,1
1985–1993 гг.	1666	2259	1964	11,8
1994–2002 гг.	1672	2135	1845	7,7
2003–2011 гг.	1649	2165	1952	8,4
2012–2020 гг.	1652	2246	1927	11,1
Коэффициент корреляции r	0,22	0,52	0,33	0,38
Критерий Стьюдента t_r (t_{05}=2,36)	0,60	1,62	0,93	1,09
Южная лесостепь				
Коэффициент корреляции r	0,30	0,73	0,14	0,35
Критерий Стьюдента t_r (t_{05}=2,36)	0,82	2,83	0,38	0,99
Степь				
Коэффициент корреляции r	0,31	0,57	0,36	0,32
Критерий Стьюдента t_r (t_{05} = 2,36)	0,87	1,82	1,04	0,88

4. Результаты статистического анализа варьирования суммы осадков за вегетационный период в почвенно-климатических зонах Южного Урала (1940–2020 гг.)

Показатель	Зона		
	северная лесостепная	южная лесостепная	степная
Результаты корреляционно-регрессионного анализа			
Средняя сумма осадков, мм	214	195	141
Расчетный прирост за анализируемый период, мм	13	14	17
Коэффициент регрессии *b*	0,16±0,30	0,18±0,31	0,21±0,31
Коэффициент корреляции *r*	0,07±0,11	0,07±0,11	0,09±0,11
Критерий Стьюдента t_r (t_{05}=1,99)	0,53	0,59	0,68
Результаты дисперсионного анализа			
Межгрупповая дисперсия	1730	1103	1049
Внутригрупповая дисперсия	5517	4505	4231
Критерий Фишера $F_ф$ (F_{05} = 2,07)	0,31	0,24	0,25

характера распределения летних осадков, так как критический период водопотребления у этой культуры в условиях региона независимо от погодного фона приходится на июль, характеризующийся более стабильной обеспеченностью осадками [24]. Как было отмечено, продуктивность кукурузы наиболее тесно связана с общим количеством осадков за период с мая по август; учет июньских осадков как дополнительного фактора не оказывает положительного влияния на величину множественного коэффициента корреляции (см. табл. 1).

Как и в случае с ресурсами тепла, корреляционно-регрессионный и дисперсионный анализы не выявили статистически доказанных тенденций к изменению влагообеспеченности периода вегетации во всех трех почвенно-климатических зонах (табл. 4).

Результаты анализа внутригруппового варьирования суммы осадков свидетельствуют, что минимальные ее значения по периодам варьируют от 107 до 120 мм в северной лесостепи, от 74 до 109 мм – в южной лесостепи и от 51 до 83 мм – в степной зоне. Выраженной тенденции к изменению величины этого показателя во времени не выявлено: коэффициенты корреляции для предполагаемого тренда изменяются по зонам от 0,13 до 0,22 и статистически не доказаны по критерию Стьюдента (t_r = 0,35÷0,60 при критическом значении t_{05} = 2,36). Это указывает на сохранение характеристики климата Южного Урала как периодически засушливого.

Для европейской части России ряд авторов отмечает тенденцию к улучшению условий увлажнения периода вегетации [26, 27, 28]. Напротив, Г. Я. Кривошеевым и др. [29] для Ростовской области выявлено усиление засушливости климата, на основании чего рекомендуется пересмотр основных направлений селекции кукурузы с использованием более засухоустойчивого материла.

В наших исследованиях в результате корреляционно-регрессионного анализа по данным 37 лет наблюдений выявлена слабо выраженная динамика изменения урожайности зерна с коэффициентом корреляции *r* = 0,12 (рис. 2), значимость которого не доказана по критерию Стьюдента (t_r = 0,75 при критическом значении t_{05} = 2,03). Это не позволяет считать существенной тенденцию к ежегодному ее приросту на 0,02 т/га, вычисляемому по уравнению регрессии.

Одно из возможных позитивных последствий потепления климата, значимых для кормопроизводства Урала, заключается в повышении вероятности раннего созревания зерна кукурузы до фаз, гарантирующих высокую концентрацию обменной энергии в силосе. Косвенным показателем, позволяющим достаточно судить о степени созревания зерна, служит уборочная влажность [30, 31]. За анализируемый период при учете в третьей декаде сентября ее величина варьировала по годам от 25,8 до 44,0 % при среднем значении 35,2 %.

Многолетняя тенденция изменения влажности зерна характеризуется ее снижением в среднем на 0,03 % в год, однако, как и в случае с урожайностью, значимость коэффициентов регрессии и корреляции не доказывается по критерию Стьюдента ((t_r = 0,40 < t_{05} = 2,03).

Таким образом, многолетние региональные изменения основных гидротермических факторов, имеющих значение для выращивания кукурузы на зерно на Южном Урале, в период с 1940 по 2020 гг. проявляются в виде ежегодного прироста суммы температур выше +10 °С в среднем на 0,87 °С в северной лесостепной, на 0,90 °С в южной лесостепной и на 1,13 °С в степной зонах, суммы осадков – соответственно на 0,16, 0,18 и 0,21 мм.

Общий прирост ресурсов тепла в период вегетации кукурузы за рассматриваемые годы по почвенно-климатическим зонам составляет от 69 до 85 °С, осадков – от 13 до 17 мм. В то же время возрастает случайное варьирование погодных условий, которое характеризуется постоянной и воспроизводимой во времени частотой неблагоприятных лет с дефицитом тепла или влаги. Как следствие многолетних климатических изменений выявлены ежегодный прирост урожайности зерна кукурузы в среднем на 0,02 т/га и снижение его уборочной влажности на 0,03 % в год. Однако, поскольку линейные тренды для анализируемого периода статистически не доказаны на 5 %-ном уровне значимости, для всей территории региона остаются актуальными прежние рекомендации, касающиеся подбора гибридов кукурузы по скороспелости, холодостойкости и засухоустойчивости, а также основных элементов технологий ее возделывания.

Выявленные тенденции подлежат периодическому уточнению с учетом динамики климатических изменений. Дальнейшее повышение температурного фона и изменение характера увлажнения в ближайшей или отдаленной перспективах может оказать влияние на основные критерии оценки гибридов, адаптированных для условий Уральского региона, на рекомендации по срокам посева кукурузы, а также на роль вла-

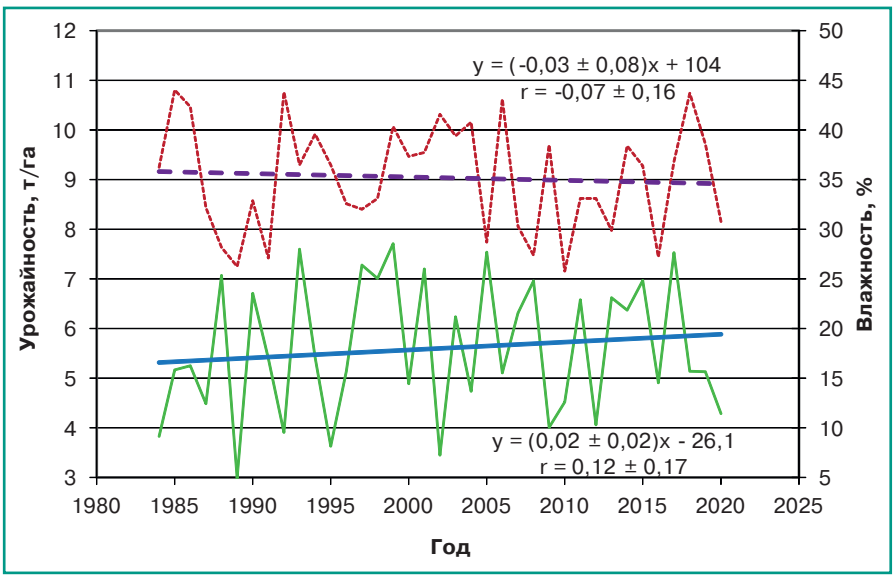


Рис. 2. *Варьирование и тренды биологической урожайности и уборочной влажности зерна кукурузы в условиях южной лесостепной зоны (1984-2020 гг.):* ▬▬ *– урожайность;* ▬ ▬ *– влажность.*

госберегающих технологий обработки почвы в формировании урожайности культуры.

Литература

1. Зезин Н. Н., Намятов М. А., Севостьянов М. Ю. Оптимизация структуры посевов кормовых культур и особенности технологии их возделывания на Среднем Урале // Кормопроизводство. 2020. № 4. С. 25–29.

2. Еремин Д. И., Дёмин Е. А. Выращивание кукурузы в лесостепной зоне Зауралья: от теоретического обоснования к практическим результатам // Аграрный вестник Урала. 2017. № 12 (166). С. 9–15.

3. Зезин Н. Н., Намятов М. А., Лаптев В. Р. Перспективные гибриды кукурузы для возделывания на силос и зерно в условиях Среднего Урала // Кормопроизводство. 2015. № 11. С. 25–28.

4. Мингалев С. К. Влияние густоты стояния, срока посева и приемов ухода на продуктивность гибридов кукурузы в условиях Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. 2018. № 5 (172). С. 38–43.

5. Li X., Mu C., Lin J. The germination and seedlings growth response of wheat and corn to drought and low temperature in spring of Northeast China // Journal of Animal and Plant Sciences. 2014. Vol. 21. P. 3212–3222.

6. Панфилов А. Э., Казакова Н. И., Иванова Е. С. Гербициды кросс-спектра в контроле засоренности кукурузы в лесостепи Южного Зауралья // Агрохимия. 2020. № 5. С. 38–43. doi:10.31857/S0002188120050117.

7. Продуктивность гибрида кукурузы Обский 140 СВ в зависимости от приёмов ухода в лесостепи Западной Сибири / Н. И. Кашеваров, А. А. Полищук, В. С. Ильин и др. // Кормопроизводство. 2013. № 5. С. 19–21.

8. Зональные особенности применения гербицидов кросс-спектра в посевах кукурузы на Южном и Среднем Урале / Н. Н. Зезин, Л. С. Скутина, А. Э. Панфилов и др. // Кормопроизводство. 2017. № 6. С. 22–27.

9. Панфилов А. Э., Казакова Н. И., Цымбаленко И. Н. Зональные особенности сегетального компонента агрофитоценозов кукурузы восточной части Уральского региона // Земледелие. 2020. № 2. С. 39–43. doi:10.24411/0044-3913-2020-10210.

10. Mann M. E., Bradley R. S., Hughes M. K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries // Nature. 1998. Vol. 392. P. 779–787.

11. Modeling a modern-like pCO2 warm period (marine isotope stage KM5c) with two versions of an Institut Pierre Simon Laplace atmosphere-ocean coupled general circulation model / N. Tan, C. Contoux, G. Ramstein, et al. // Climate of the Past. 2020. Vol. 16 (1). P. 1–16. URL: https://cp.copernicus.org/articles/16/1/2020/ (дата обращения: 12.01.2021). doi: 10.5194/cp-16-1-2020.

12. Increasing contribution of peatlands to boreal evapotranspiration in a warming climate / M. Helbig, J. M. Waddington, P. Alekseychik, et al. // Nature Climate Change. 2020. Vol. 10 (6). P. 555–560. doi: 10.1038/s41558-020-0763-7.

13. Twentieth-century hydroclimate changes consistent with human influence / K. Marvel, B. I. Cook, C. J. W. Bonfils, et al. // Nature. 2019. Vol. 569 (1). P. 59–65. doi: 10.1038/s41586-019-1149-8.

14. Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios / Y. Tramblay, A. Koutroulis, L. Samaniego, et al. // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 210. P. 103348. URL: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03024459 (дата обращения: 12.01.2021). doi: 10.1016/j.earscirev.2020.103348.

15. The Role of HFCs in Mitigating 21st Century Climate Change / Y. Xu, D. Zaelke, J. M. Guus, et al. // Climate Policy. 2016. Vol. 16 (5). P. 109–125. doi: 10.1201/b20720-9.

16. Woolf D., Solomon D., Lehmann J. Land restoration in food security programmes: synergies with climate change mitigation // Climate Policy. 2018. Vol. 18 (10). P. 1260–1270. doi: 10.1080/14693062.2018.1427537

17. Carbon isotope (13C) excursions suggest times of major methane release during the last 14 kyr in Fram Strait, the deep-water gateway to the Arctic / C. Chiara Consolaro, T. L. Rasmussen, et al. // Climate of the Past. 2015. Vol. 11 (5). P. 669–685. doi: 10.5194/cp-11-669-2015.

18. Коновалов Н. Д., Коновалов С. Н. Изменение погодных условий и урожайность зерновых культур в Тамбовской области // Земледелие. 2008. № 6. С. 36–37.

19. Немцев С. Н., Шарипова Р. Б. Тенденции изменений климата и их влияние на продуктивность зерновых культур в Ульяновской области // Земледелие. 2012. № 2. С. 3–5.

20. Благовещенский Г. В. Кормопроизводство Нечернозёмной зоны в изменяющемся климате // Кормопроизводство. 2008. № 10. С. 6–8.

21. Грязнов А. А. Использование позитива климатических изменений в сельскохозяйственном производстве умеренно-засушливой степи // Агробизнес и экология. 2015. Т. 2. № 2. С. 24–26.

22. Влияние агрометеорологических факторов на физическое состояние выщелоченных черноземов и урожайность зерновых культур в условиях Зауралья / С. Д. Гилев, И. Н. Цымбаленко, А. А. Замятин и др. // Аграрный вестник Урала. 2015. № 4 (134). С. 28–32.

23. Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений. Кишинев: Штиинца, 1988. 767 с.

24. Волошин В. А. Кукуруза в коллекционном питомнике // Аграрный вестник Урала. 2010. № 9 (75). С. 57–59.

25. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год / М. Ю. Бардин, В. И. Егоров, А. М. Николаева и др. М.: Росгидромет, 2020. 97 с.

26. Анализ погодных условий в южной зоне Ростовской области за 1930-2015 годы / А. В. Алабушев, Н. Г. Янковский, Г. В. Овсянникова и др. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 1. С. 23–27.

27. Ергина Е. И., Жук В. О. Изменения климата и опасные гидрометеорологические явления на территории Крымского полуострова // Метеорология и гидрология. 2019. № 7. С.101–109.

28. Радцевич Г. А., Черемисинов А. А., Черемисинов А. Ю. Исследование изменений климата на европейской части Российской Федерации за длительный период // Вестник Воронежского ГАУ. 2017. № 4 (55). С. 30–40. doi: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.30

29. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Буин Н. П. Изменение климатических условий в Южной зоне Ростовской области в период вегетации кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2014. № 1. С. 44–50.

30. Adaptive approach in maize breeding for the Urals region / A. E. Panfilov, N. N. Zezin, N. I. Kazakova, et al. // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020. Vol. 14. P. 55–62. doi: 10.46300/91011.2020.14.9.

31. Урожай и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы в разных экологических условиях в зависимости от сроков посева / В. С. Сотченко, А. Г. Горбачёва, А. Э. Панфилов и др. // Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 26–31. doi: 10.25685/KRM.2019.2019.28247.

Regional climate changes and the technology of corn cultivation for grain in the Southern Urals

A. E. Panfilov[1], P. Y. Ovchinnikov[2]
[1]South Ural State Agrarian University, ul. Gagarina, 13, Troitsk, Chelyabinskaya obl., 457100, Russian Federation
[2]Ural Federal Agricultural Scientific Center, Ural branch, Russian Academy of Sciences, ul. Belinskogo, 112 A, Ekaterinburg, 620142, Russian Federation

Abstract. *The research was conducted in order to analyze long-term trends in climate change and variation of weather conditions in the Southern Urals to assess their impact on the choice of hybrids, the main elements of cultivation technology and the productivity of corn for grain. The analysis of the variation of weather conditions was carried out for the period from 1940 to 2020. We used data of the Shatrovo and Kurgan weather stations (northern and southern forest-steppe zones), located in the Kurgan region, and the weather station of the village of Bredy (steppe zone), located in the Chelyabinsk region. The initial data on the yield and harvest moisture of corn grain were obtained in an ecological test of hybrids in 1984-2020. According to the results of multiple regression analysis under the conditions of the Southern Urals, corn yield is due to the interaction of the sums of active temperatures above 10 C and precipitation amount for the period from May to August. Long-term changes in these indicators are manifested in the form of an annual increase in the sum of temperatures above 10 C on average by 0.87 C in the northern forest-steppe, by 0.90 C in the southern forest-steppe and by 1.13 C in the steppe zones; the amount of precipitation annually increase by 0.16, 0.18 and 0.21 mm, respectively. The consequence of the revealed trends is an annual increase in grain yield on average by 0.02 t/ha and a decrease in its harvest moisture by 0.03%. Statistical lack of evidentiary support of linear trends in the sums of active temperatures, precipitation, yield and moisture of grain allows us to conclude that the previous technological recommendations remain relevant for the entire territory of the region. The revealed trends are subject to periodic clarification, taking into account the further development of the dynamics of climate change.*

Keywords: *corn (Zea mays L.); technology; soil and climatic zones; sum of active temperatures; precipitation; grain yield; dynamics; variation.*

Author Details: *A. E. Panfilov, D. Sc. (Agr.), prof. (e-mail: al_panfilov@mail.ru); P. Y. Ovchinnikov, post graduate student (e-mail: ovchinnikov-paha@mail.ru).*

For citation: *Panfilov AE, Ovchinnikov PY [Regional climate changes and the technology of corn cultivation for grain in the Southern Urals]. Zemledelie. 2022; (1):30-4. Russian. doi:10.24412/0044-3913-2022-1-30-34.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39
УДК 633.162: 631.524 (527, 559)

Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Северного региона РФ*

А. Н. НОСКОВ, научный сотрудник (e-mail: 19651960@mail.ru)
О. Б. БАТАКОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
В. А. КОРЕЛИНА, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН, Набережная Северной Двины, 17, Архангельск, 163002, Российская Федерация

Исследования проводили с целью отобрать перспективный селекционный материал ярового ячменя для создания сортов с заданными признаками. Проведена оценка семи селекционных номеров (стандарт – сорт Таусень) в конкурсном сортоиспытании по параметрам адаптивных свойств, рассчитанных для урожайности, – экологической пластичности, стабильности, гомеостатичности. Работу выполняли в 2019–2021 гг. в условиях Архангельской области. Средняя урожайность образцов ячменя за годы исследований составила 3,30 т/га. Внутри выборки продуктивность варьировала от 2,85 до 3,56 т/га (доля влияния фактора генотип 6,4 %), по годам – от 2,18 до 4,00 т/га (доля влияния фактора условия среды 71,7 %). С помощью коэффициента регрессии (b_i) и мультипликативности (КМ) выделили наиболее пластичные селекционные номера интенсивного типа к-038850 (b_i=1,47; КМ=2,40), к-038458 (b_i=1,22; КМ=2,21), к-039120 (b_i=1,14; КМ=2,12) и к-036982 (b_i=1,05; КМ=1,97). По гомеостатичности (Hom) выделились образцы к-038338 (9,9), к-038806 (8,8) и сорт Таусень (8,7). По комплексу показателей лучшие результаты продемонстрировал номер к-036982, который характеризовался наибольшей урожайностью (3,56 т/га), стабильностью и адаптивностью к изменениям условий среды (показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) – 133,8 %, коэффициент адаптивности (КА) более 100 % за все годы изучения). Также выделился образец к-038850, который был самым пластичным и отзывчивым на благоприятные условия среды, а также обладал признаками высокой потенциальной урожайности (урожайность – 3,47 т/га, коэффициент регрессии – 1,47, коэффициент интенсивности – 86,4 %).

Ключевые слова: *яровой ячмень (Hordeum vulgare L.), урожайность, адаптивность, пластичность.*

Для цитирования: *Носков А. Н., Батакова О. Б., Корелина В. А. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Северного региона РФ // Земледелие. 2022. №1. С. 35–39. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39.*

Ячмень – уникальная культура, как по своим биологическим особенностям, так и по хозяйственно полезным признакам. Его основные достоинства – засухоустойчивость, высокая продуктивность, хорошие кормовые качества и возможность универсального использования. В России и особенно ее северных регионах это важнейшая зернофуражная культура. Кроме того, ее используют для производства продуктов питания, в солодовой и пивоваренной промышленности [1, 2, 3].

Главная задача селекции – создание высокопродуктивных сортов с незначительной ответной реакцией на неблагоприятные условия среды. Для стабильной реализации качественных и количественных признаков с целью повышения продуктивности новые сорта должны обладать эффективной реакцией на изменяющиеся факторы внешней среды. Сорт как основа технологии возделывания любой сельскохозяйственной культуры – результат сложного взаимодействия генотипа и среды, поскольку он может реализовать продукционный потенциал и технологические качества только в конкретных средовых условиях. Исследования по определению влияния изменяющихся факторов среды играют важную роль при выборе лучших сортов и оценке их стабильности. Сочетание оценок пластичности и стабильности с использованием различных методик должно давать надежный прогноз поведения сорта в установленных информативных параметрах [4, 5, 6].

Сегодня, наряду с созданием сортов с высокой потенциальной урожайностью, не менее важное значение имеет селекция на способность растений противостоять неблагоприятным биотическим и абиотическим стрессовым факторам. Задача селекционера – определение степени реакции сортов на неустойчивые факторы окружающей среды для отбора наиболее перспективного селекционного материала со стабильным проявлением признака [7]. Поэтому основная цель современных селекционных программ – создание сортов, обеспечивающих высокую стабильную урожайность вне зависимости от факторов окружающей среды [8, 9]. Для решения этой проблемы селекционеры должны более масштабно использовать методы экологической селекции с тем, чтобы создавать агроэкологически адресные сорта, приспособленные не только к экстремальным почвенно-климатическим условиям, но и к региональным технологиям возделывания [10].

Цель исследований – провести оценку адаптивных свойств ячменя по признаку урожайности и выделить генотипы, сочетающие высокую продуктивность с показателями экологической адаптивности.

Работу выполняли на опытном поле Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН (г. Котлас). Материалом для исследования служили 7 селекционных номеров, полученных методом гибридизации к-037712 (Андрей × Север 1) × (WW988/77 × Hazer), к-038338 (Варде × Дина) x Riso), к-038806 (Таусень × Гид), к-036982 (Guardan × (Stange ×

* *Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по теме № 0409-2021-0004.*

Дина), к-039120 (Омский 96 × Кредо), к-038850 (Сибирский Авангард × Таусень), к-038458 (Пикет × Дина), стандарт – сорт Таусень. Норма высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га, площадь делянки 10 м^2, повторность опыта 4-кратная. Почва опытного участка дерново-подзолистая суглинистая. Мощность пахотного горизонта – 20...22 см, pH_{KCl} – 6,0, содержание гумуса (по Тюрину) – 2,2 %, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – 250 и 100 мг/кг почвы соответственно.

Годы проведения исследований различались по температурному режиму и количеству осадков, что позволило всесторонне оценить адаптивность изучаемых сортов. Гидротермический коэффициент по годам варьировал в пределах 1,2...2,5. Сумма эффективных температур за период с мая по август в 2019 г. составляла 1023 °С, в 2020 г. – 1145 °С и в 2021 г. – 1457 °С при среднемноголетней норме 1067 °С (см. рисунок).

По данным ФГБУ «Северное УГМС» Гидрометцентра (пост Курцево), вегетационный период 2019 г. характеризовался благоприятными условиями в начальный период роста растений (до фазы колошение) и пониженными температурами (на 2,5...6,3 °С меньше нормы) с обильными осадками (189 % от нормы) в период созревания. В 2020 г. температурный режим был в пределах средних многолетних данных, а по количеству осадков наблюдали неблагоприятный период в фазе кущения ячменя (47 % от нормы). Вегетационный период 2021 г. характеризовался неблагоприятными для роста и развития растений условиями. Температура воздуха в период от фазы кущения до молочной спелости была в среднем на 3,9° С выше средней многолетней, количество осадков составило 45 % от нормы.

Статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.*) с использованием дисперсионного анализа. Он предлагает использовать для определения относительной стабильности сорта коэффициент вариации (*V*):

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\ \%, \qquad (1)$$

где *V* – стандартное отклонение, выраженное в процентах к средней арифметической данной совокупности; *S* – стандартное отклонение; $\bar{X}$ – средняя урожайность.

Вклад генотипов и условий среды в формирование урожайности определяли по Н. А. Плохинскому (*Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 256 с.*). Индексы условий среды, а также отзывчивость сортов на изменение условий (коэффициент регрессии, b_i) определяли по С. А. Эберхарту и В. А. Расселу (*Eberhart, S. A., Russell, W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40*):

$$b_i = \frac{\sum(Y_{ij} \times I_j)}{\sum I_i^2}, \qquad (2)$$

где $\sum(Y_{ij} \times I_j)$ – сумма произведения урожайности определенного сорта за определенный год и соответствующей величины индекса условий среды; $\sum I_i^2$ – сумма квадратов индексов условий среды.

Для вычисления коэффициента регрессии рассчитывали индексы условий среды по формуле:

$$I_i = \frac{\sum Y_{ij}}{v} - \frac{\sum\sum Y_{ij}}{v \times n}, \qquad (3)$$

где $\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за определенный год; $\sum\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за все годы; *v* – количество сортов; *n* – число лет.

Гомеостатичность (*Hom*) оценивали по В. В. Хангильдину (*Хангильдин В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур // Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1986. № 2 (60). С. 36–41.*)

$$Hom = \frac{\bar{X}^2}{\delta \times \left(\bar{X}_{opt} - \bar{X}_{lim}\right)}, \qquad (4)$$

где $\bar{X}$ – средняя урожайность; $\bar{X}_{opt}$ и $\bar{X}_{lim}$ – средние значения урожайности изучаемого сорта на оптимальном и лимитированном фонах; δ – среднеквадратичное отклонение.

Показатель интенсивности (И) рассчитывали по Р. А. Удачину (*Удачин Р. А., Головченко А. П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // Селекция и семеноводство. 1990. № 5. С. 2–6*):

$$И = \frac{\bar{X}_{opt} - \bar{X}_{lim}}{\bar{X}} \times 100\ \%, \qquad (5)$$

где $\bar{X}_{opt}$ и $\bar{X}_{lim}$ – средняя урожайность изучаемого сорта на оптимальном и лимитированном фонах; $\bar{X}$ – средняя урожайности набора

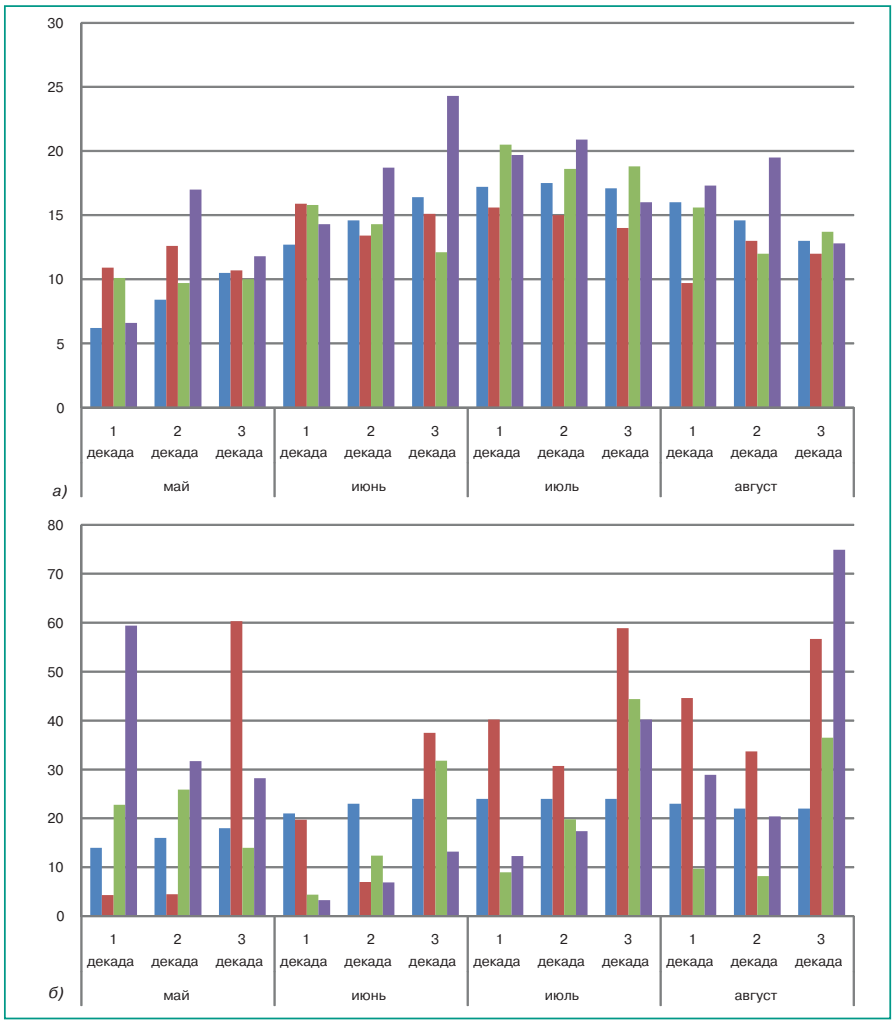


Рисунок. *Метеоусловия в годы проведения исследований: а) температура, °С; б) сумма осадков, мм: ■ – средние многолетние данные; ■ – 2019; ■ – 2020; ■ – 2021.*

сортов на всех фонах испытания, или обобщенный индекс среды.

Комплексный показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) определяли согласно Э. Д. Неттевич (*Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // Вестник сельскохозяйственной науки. 1985. №1. С. 66–73*):

$$ПУСС = \bar{X}_i \times L, \quad (6)$$

где $\bar{X}_i$ – средняя урожайность; L – индекс стабильности, который рассчитывается путем деления средней урожайности на коэффициент вариации и выражается в процентах к стандарту.

Коэффициент мультипликативности (КМ) вычисляли по В. А. Драгавцеву (*Драгавцев В. А., Цильке В. А., Рейтер Б. Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. 229 с.*):

$$КМ = \frac{\bar{X}_i + b_i \times \bar{X}}{\bar{X}_i}, \quad (7)$$

где $\bar{X}_i$ – среднее значение исследуемого признака у i-го сорта по пунктам испытания; b_i – коэффициент линейной регрессии i-го сорта; $\bar{X}$ – среднее значение для всех $\bar{X}_i$ средних по всем сортам для каждого j-го пункта эксперимента.

Стрессоустойчивость ($Y_{min} - Y_{max}$) рассчитывали по A.A. Rossille, J. Hamblin, в изложении А.А. Гончаренко (*Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53*):

$$Стрессоустойчивость = Y_{min} - Y_{max}, \quad (8)$$

где Y_{min} и Y_{max} – соответственно минимальная и максимальная урожайность сорта.

По методу Л. А. Животкова (*Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–6*) определили коэффициент адаптивности (КА):

$$КА = \frac{X_{ij}}{\bar{X}_j} \times 100\ \%, \quad (9)$$

где X_{ij} – урожайность i-го сорта в j-й год испытания; $\bar{X}_j$ – среднесортовая урожайность за год.

На основе двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что включенные в модель факторы (генотипы и годы) и их взаимодействие оказывали достоверное влияние на урожайность. Большую часть изменчивости обусловливал фактор условий среды (годы испытаний) – 71,7 % (табл. 1). Невысокие доли влияния фактора генотип (6,4 %) и взаимодействия факторов (7,6 %) связана с тем, что изучаемые образцы находятся в конкурсном сортоиспытании, куда они были предварительно отобраны, в том числе по признаку урожайность.

1. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по урожайности

Наименование	SS	Df	ms	$F_{факт}$	F_{05}	Доля влияния фактора, %
Общее	86,188	95	–	–	–	100
Фактор генотипа	5,48	7	0,78	4,83	2,1	6,4
Фактор условий среды	61,81	2	30,90	190,70	3,1	71,7
Взаимодействие факторов	6,52	14	0,47	2,87	1,8	7,6
Случайные отклонения	12,38	72	0,17	–	–	14,3

Прежде чем анализировать адаптивные свойства селекционных образцов, необходимо провести оценку основных источников средовых влияний на выраженность признака. Большинство изучаемых генотипов, за исключением к-038338, сформировали среднюю урожайность выше, чем у стандарта (2,91 т/га). Наибольшей величиной этого показателя характеризовались к-038850 (4,70 т/га), к-036980 (4,40 т/га), к-038458 (4,19 т/га) и к-037712 (4,18 т/га) в 2019 г. Самый низкий сбор зерна у всех изучаемых образцов отмечен в 2021 г. из-за повышенной температуры воздуха и недостаточной влагообеспеченности в начальный период роста (табл. 2).

Варьирование средней урожайности по образцам составило от 2,85 т/га до 3,56 т/га, по годам – от 2,18 т/га до 4 т/га. Коэффициент вариации при этом составил 23,5...36,3 %. Наиболее стабильными по этому показателю были сорт Таусень и селекционные номера к-038338 и к-038806 (V=23,5...23,9 %).

Важный этап для определения адаптивных свойств селекционных номеров – оценка по параметрам пластичности, стабильности, гомеостатичности и интенсивности (табл. 3).

По величине коэффициента линейной регрессии (b_i), который определяет степень реакции генотипов на изменяющиеся условия среды. В условиях проведения исследований к пластичным можно отнести номера к-038850, к-038458, к-039120 и к-036982 (b_i>1).

В качестве альтернативы коэффициенту регрессии В. А. Драгавцев предложил использовать для определения пластичности коэффициент мультипликативности (КМ), демонстрирующий во сколько раз вырос уровень признака. Чем выше числовое значение КМ, тем сильнее меняется урожайность при изменении условий среды. Наибольшую величину показателя КМ наблюдали у образцов к-038850 (2,40), к-038458 (2,21), к-039120 (2,12), наименьшую – у стандарта сорта Таусень (1,67), а также образцов к-038338 (1,76) и к-038806 (1,84). Кроме того, установлена достоверно значимая корреляция КМ с коэффициентом регрессии (коэффициент корреляции 0,99 статистически значим при уровне вероятности P≥0,95).

Один из важных показателей, характеризующих устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов среды – гомеостаз – способность генотипа сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных внешних условий [11]. В. В. Хангильдин предложил учитывать это свойство путем использования показателя гомеостатичности (*Hom*). Его высокая величина связана со стабильностью урожая зерна и, наоборот, проявление низкого гомеостаза связано с большей вариабельностью урожаев при одних и тех же лимитирующих факторах внешней среды. Высокие величины показателя гомеостатичности рассчитаны для селекционных номеров к-038338 (9,9), к-038806 (8,8) и сорта Таусень (8,7). Из них образец к-038806 с достоверной разницей превосходит два других по урожай-

2. Урожайность селекционных номеров в годы испытаний

Сорт, линия	Урожайность, т/га				Коэффициент вариации (V), %
	2019 г	2020 г	2021 г	среднее	
Таусень	2,95	3,60	2,18	2,91	23,5
к-037712	4,18	3,80	2,35	3,44	27,5
к-038338	3,40	3,13	2,15	2,85	23,5
к-038806	4,08	3,75	2,45	3,43	23,9
к-036982	4,40	3,88	2,40	3,56	26,3
к-039120	4,10	3,95	2,08	3,38	31,6
к-038850	4,70	3,85	1,85	3,47	36,3
к-038458	4,19	3,83	1,95	3,32	33,6
Среднее	4,0	3,72	2,18	3,30	

$НСР_{05}$ – 0,57 для сравнения частных средних
$НСР_{05}$ – 0,34 для сравнения средних урожайностей сортов
$НСР_{05}$ – 0,21 для сравнения средних урожайностей по годам

3. Параметры экологической пластичности селекционных номеров ярового ячменя

Сорт, линия	b_i	КМ	Hom	ПУСС	И	$У_{min}$-$У_{max}$	$КА_{2019}$	$КА_{2020}$	$КА_{2021}$
Таусень	0,59	1,67	8,7	100	43,2	-1,42	73,8	96,7	100,0
к-037712	0,98	1,94	6,8	119,3	55,3	-1,83	104,4	102,1	108,0
к-038338	0,67	1,76	9,9	98,9	37,9	-1,25	85,0	84,0	98,9
к-038806	0,87	1,84	8,8	136,1	49,3	-1,63	101,9	100,8	112,6
к-036982	1,05	1,97	6,8	133,8	60,6	-2,00	110,0	104,1	110,3
к-039120	1,14	2,12	5,3	100,1	61,4	-2,02	102,5	106,1	95,4
к-038850	1,47	2,40	3,3	91,8	86,4	-2,85	117,5	103,4	85,1
к-038458	1,22	2,21	4,4	91,2	67,8	-2,24	104,7	102,8	89,7

ности. Низкий гомеостаз отмечен у селекционных линий к-038850 (3,3) и к-038458 (4,4).

При оценке стабильности сорта, по мнению Э. Д. Неттевича (*Неттевич и др., 1985*), его хозяйственную ценность в отношении урожайности более полно может характеризовать показатель уровня стабильности сорта (ПУСС), учитывающий одновременно уровень и стабильность урожайности сорта, по отношению к стандарту. По величине этого показателя ПУСС в качестве наиболее стабильных и урожайных выделились селекционные номера к-038806 (136,1 %), к-036982 (133,8 %) и к-037712 (119,3 %).

Реакцию на условия произрастания можно оценить через показатель интенсивности (И). Чем выше размах колебаний урожайности, тем сильнее генотип реагирует на изменение условий среды. Размах ее может быть увеличен как путем резкого повышения урожайности в благоприятные годы, так и в результате ее резкого снижения в экстремальных условиях среды (*Удачин и др., 1990*). Согласно использованной методике, сорта подразделяются на интенсивные, полуинтенсивные и экстенсивные. В нашем опыте в группу интенсивных образцов вошел к-038850 (И=86,4%), экстенсивных – к-038338 (И=37,9%), остальные были полуинтенсивного типа.

Один из показателей устойчивости к неблагоприятным факторам среды – стрессоустойчивость. Разность Y_{min}–Y_{max} имеет отрицательный знак и отражает уровень реакции генотипа на стрессовые условия произрастания. Чем меньше разрыв между минимальным и максимальным проявлением признака, тем выше стрессоустойчивость и стабильность сорта. В нашем исследовании лучшей стрессоустойчивостью обладали селекционные линии к-038338 (-1,25), к-038806 (-1,63) и сорт Таусень (-1,42), менее устойчивыми к воздействию стрессовых факторов были образцы к-038850 (-2,85) и к-038458 (-2,24). Генотипы с повышенной потенциальной урожайностью, как правило, менее устойчивы к неблагоприятным факторам среды по показателю стрессоустойчивости. В наших исследованиях проявилась взаимосвязь показателей пластичности, интенсивности и стрессоустойчивости – образцы, обладающие большей пластичностью, одновременно были более интенсивными и менее устойчивыми к стрессовым условиям среды. Поэтому важная задача селекционера – создание сортов с высокой потенциальной урожайностью и низкой реакцией на стрессовые факторы среды.

Для сравнения продуктивного и адаптивного потенциала сортов применяли коэффициент адаптивности (КА). Реакцию испытываемых сортов на внешнюю среду определяют, сравнивая их урожайность со среднесортовой, которая берется за 100 %. По величине этого показателя можно определить потенциальную продуктивность и адаптивность сортов. В 2019 г. с самой высокой среднесортовой урожайностью по показателю адаптивности были выделены такие потенциально продуктивные образцы – к-038850 (117,5 %) и 036982 (110,0 %). У трех образцов его величина за период исследований не снижалась менее 100 % – к-037712 (102,1...108,0 %), к-038806 (100,8...112,6 %) и к-036982 (104,1...110,3 %), в связи с этим можно сделать вывод, что они обладают лучшей адаптивностью к различным факторам среды.

Таким образом, сравнительная характеристика селекционных номеров ячменя показала, что на урожайность культуры значительное влияние оказывают факторы окружающей среды. В результате исследований выявлены наиболее пластичные селекционные номера – к-038850 (b_i=1,47; *КМ*=2,40), к-038458 (b_i=1,22; *КМ*=2,21), к-039120 (b_i=1,14; *КМ*=2,12) и к-036982 (b_i=1,05; *КМ*=1,97), и образцы со слабой реакцией на изменения условий среды – Таусень (b_i=0,59; *КМ*=1,67) и к-038338 (b_i=0,67; *КМ*=1,94). Высокими показателями гомеостаза выделились селекционные номера к-038338 (9,9), к-038806 (8,8) и сорт Таусень (8,7). По показателю стабильности выделены номера к-037712 (ПУСС – 119,3), к-038806 (ПУСС – 136,1) и к-036982 (ПУСС –133,8). По сочетанию показателей урожайности, адаптивности и стабильности выделили перспективный образец к-036982, который в 2021 г. был передан на Государственное сортоиспытание как перспективный как сорт Линх.

Литература.

1. Noskova E. N., Shchennikova I. N., Svetlakova E. V. Responsiveness of spring barley cultivars to top-dressing in the conditions of the VolgaVyatka region // E3S Web of Conferences 254, 07009(2021). URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/30/e3sconf_farba2021_07009.pdf (дата обращения 13.12.2021) doi: 10.1051/e3sconf/202125407009.

2. Адаптивный потенциал сортов ярового ячменя селекции Омского аграрного научного центра / П. Н. Николаев, О. А. Юсова, П. В. Поползухин и др. // Земледелие. 2019. № 1. С. 35–38. doi 10.24411/0044-3913-2019-10110.

3. Необходимые признаки сортов ячменя для адаптации к неблагоприятным погодным условиям / Р. А. Абдуллаев, Е. Е. Радченко, О. Н. Ковалева и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 41–45.

4. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 1. С. 21–31. doi 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31

5. Кильчевский, А. В. Генетико-экологические основы селекции растений // Информационный вестник ВОГИС. 2005. Т. 9. № 4. С. 518–526.

6. Марухняк А. Я. Оценка адаптивных особенностей сортов ярового ячменя // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 67–72.

7. Николаев П. Н., Юсова О. А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя Омской селекции в условиях Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4(24). С. 135–142. doi 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142.

8. Баталова Г. А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России // Зерновое хозяйство России. 2011. №3. С. 15–22.

9. Жуйкова О. А., Баталова Г. А. Адаптивность линий и сортов овса голозерного в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20(2). С. 118–125. doi 10.30766/2072-9081.2019.20.2.118-125.

10. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 31–37.

11. Константинова О. Б., Кондратенко Е. П. Оценка урожайности и стабильности новых сортов озимой ржи в условиях лесостепной зоны Кемеровской области // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. №3. С. 7–9.

Comparative evaluation of hybrid forms of spring barley by yield and adaptive properties under the conditions of the Northern region of the Russian Federation

A. N. Noskov, O. B. Batakova, V. A. Korelina
Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural branch, Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoi Dviny, 17, Arkhangel'sk, 163002, Russian Federation

Abstract. *The study aimed to select a promising breeding material of spring barley to develop varieties with necessary characteristics. We evaluate seven breeding samples (variety Tausen was the standard) in the competitive variety testing for yield in terms of adaptive properties – ecological plasticity, stability, homeostaticity. The work was carried out in 2019–2021 under the conditions of the Arkhangelsk region. The average yield of barley samples over the years of the research was 3.30 t/ha. Within the series, productivity varied from 2.85 to 3.56 t/ha (the share of influence of the genotype factor was 6.4%), over the years it varied from 2.18 to 4.00 t/ha (the share of influence of the environmental factor was 71.7%). Using the regression (bi) and multiplicativity (CM) coefficients, we selected the most plastic samples of the intensive type: k-038850 (bi = 1.47; CM = 2.40), k-038458 (bi = 1.22; CM = 2.21), k-039120 (bi = 1.14; CM = 2.12), and k-036982 (bi = 1.05; CM = 1.97). According to homeostaticity (Hom), samples k-038338 (9.9), k-038806 (8.8) and variety Tausen (8.7) were distinguished. In terms of a set of indicators, the best results were shown by k-036982, which was characterized by the highest yield (3.56 t/ha), stability and adaptability to changes of environmental conditions (the indicator of the level of variety stability (ILVS) was 133.8%, the coefficient of adaptability (CA) was more than 100% for all years of the study). Also, sample k-038850 stood out, which was the most plastic and responsive to favourable environmental conditions, and also had signs of high potential yield (the productivity was 3.47 t/ha, regression coefficient – 1.47, intensity coefficient – 86.4%).*

Keywords: *spring barley (Hordeum vulgare L.); yield; adaptability; plasticity.*

Author Details: *A. N. Noskov, research fellow (e-mail: 19651960@mail.ru); O. B. Batakova, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; V. A. Korelina, Cand. Sc. (Agr.), head of laboratory.*

For citation: *Noskov AN, Batakova OB, Korelina VA. [Comparative evaluation of hybrid forms of spring barley by yield and adaptive properties under the conditions of the Northern region of the Russian Federation]. Zemledelie. 2022;(1):35-9.Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-39-43
УДК 633.112.:575.1.

Новые перспективные линии ячменя пивоваренного направления селекции Омского аграрного научного центра

П. Н. НИКОЛАЕВ, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией (e-mail: nikolaev@anc55.ru)
О. А. ЮСОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией (e-mail: yusova@anc55.ru)
А. Е. КРЕМПА, специалист (e-mail: krempa@anc55.ru)
Омский аграрный научный центр, просп. Королева, 26, Омск, 644012, Российская Федерация

Исследования проводили с целью выделения в селекционном материале Омского аграрного научного центра перспективных генотипов ячменя, которые будут превышать родительские сорта по основным показателям пивоваренных свойств. Объект исследований – сорта пивоваренного направления Омский 90 (стандарт), Омский 95, Омский 100, Саша, Подарок Сибири, Гетьман, Беатрис, Деспина, а также полученные на основе этого материала 13 линий: Саша × Гетьман (2 линии), Саша × Margret; Подарок Сибири × Гетьман (3 линии); Омский 95 × Беатрис (3 линии); Омский 95 × Деспина; Омский 95 × Viva; Омский 100 × Margret; Омский 90 × Margret. Гибридизацию проводили в 2011 г., оценку – в 2015–2020 гг. На каждом этапе изучения осуществляли жесткий отбор селекционного материала путем сравнения со стандартом Омский 90 и с родительскими сортами. Для дальнейших исследований выделены линии Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Беатрис (3). Они характеризовались наиболее удачным сочетанием комплекса признаков пивоваренного направления и урожайности. Линии отличаются пониженным содержанием белка в зерне (соответственно 11,4 и 11,8 %) при депрессивном характере наследования; повышенной урожайностью (5,7 и 5,8 т/га), экстрактивностью зерна и содержанием крахмала (56,5 и 54,9 %) при сверхдоминировании; высокой крупностью зерна (46,3 г) при неполном доминировании одной из родительских форм; пониженной долей стекловидных зерен (2,0 %); соответствием норме по прозрачности сусла (0,61 и 0,15 ЕВС) и времени осахаривания (10 и 15 минут). Линия Омский 95 × Беатрис (2) характеризуется соответствием норме по разности массовых долей экстрактов тонкого и грубого помола (1,9 %); Омский 95 × Беатрис (3) – по кислотности (0,9 мл 1н NAOH /100 г сусла).

Ключевые слова: *ячмень (Hordeum vulgare L.), генотип, пивоваренные качества, урожайность, степень доминирования, интенсивность отбора.*

Для цитирования: *Николаев П. Н., Юсова О. А., Кремпа А. Е. Новые перспективные линии ячменя пивоваренного направления селекции Омского аграрного научного центра // Земледелие. 2022. №1. С. 39–43. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-39-43.*

Обеспечение пивоваренной отрасли сырьем отечественных сортов ячменя – приоритетное направление селекции и семеноводства в соответствии с доктриной продовольственной безопасности РФ. В современных условиях наблюдают определенную зависимость отечественного пивоваренного производства от зарубежного сырья, что обусловлено его дефицитом на отечественном рынке и, как следствие, восполнением путем импорта [1, 2].

В Российской Федерации основное производство пивоваренного ячменя сконцентрировано в Центрально-Черноземном районе и на юге Сибири. В последние годы отмечено его продвижение на север – в Ленинградскую и Ярославскую области [3].

Непосредственное влияние на урожайность и формирование качественных показателей зерна ячменя оказывают изменяющиеся климатические факторы [4, 5, 6], что диктует необходимость непрерывного анализа применяемых агротехнологий и распространения в производстве новых адаптивных сортов [1, 7, 8].

Селекция – это бесконечный конвейер, когда в течение периода вегетации в различных питомниках проходят все этапы селекционного процесса (начиная от исследований генотипов F_1 и заканчивая передачей сорта на ГСИ). Выведенные ранее сорта включаются в план гибридизации и становятся базой для создания новых. Безусловно, селекционный материал на всех этапах изучения требует всесторонней оценки по множеству показателей продуктивности и качества зерна.

Цель исследования – выделить в селекционном материале Омского аграрного научного центра перспективные генотипы ячменя, которые будут превышать родительские сорта по основным показателям пивоваренных свойств.

Работу проводили в 2015–2020 гг. в Омском аграрном научном центре, расположенном в южной лесостепи Западной Сибири. Почва опытного участка чернозем луговой среднемощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса (по Тюрину) варьировало от 5,90 до 7,00 %, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 90...120 мг/кг, обменного калия (по Масловой) – 240...320 мг/кг почвы, нитратного азота (по Кочергину) – 6,0 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 40,0 мг-экв./100 г почвы, pH_{KCl} почвенного раствора – 6,3...6,6 ед. В составе катионов преобладает кальций (90,0 %), на магний приходится 9,5 % от общей емкости поглощения, натрия – менее 0,5 %.

Опыт заложен рендомизированными повторениями, в четырех несмежных повторностях, в севообороте третьей культурой после пара. Площадь опытной делянки 10 м^2. Предпосевная обработка заключалась в культивации КС-5,6. Посев проводили в оптимальные сроки (как правило третья декада мая) рядовым способом сеялкой ССФК-7 при норме высева 4 млн всхожих семян на 1 га [7]. Защиту посевов осуществляли препаратами Примадонна и Овсюген (0,5 л/га), а также Гранат (0,015 кг/га).

Биохимический анализ качества зерна выполняли с использованием традиционных методов и технологий (*Плешков Б. В. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 256 с.*), оценку образцов ячменя на пивоваренные качества – по ГОСТ 5060-86 в Федеральном исследовательском центре «Немчиновка». Математическую обработку данных проводили в приложении Excel для ПК (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.*).

Для отборов по параметрам органов проростков рассчитывали меру интенсивности отбора (*i*) (*Шаманин В. П., Тущенко А. Ю. Общая селекция и сортоведение полевых культур. Омск: Изд-во ОмГАУ, 2006. С. 165*) и тип наследования (*hp*) (*Конова-лова Ю. Б., Пыльнева В. В. Общая селекция растений. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 395 с.*).

Метеорологические условия периодов вегетации характеризовались высокой контрастностью, что отразилось на распределении осадков как по годам, так и за вегетационный период (май–август). Умеренно прохладная погода зафиксирована в 2018 г. (недобор температур к среднемноголетнему уровню составил 1,7 °С). В 2015–2017 гг. отмечали превышение нормы на 0,3...0,8 °С. Дефицит осадков наблюдали в 2014, 2017 и 2020 гг. (61,0...78,0 % от среднемноголетнего количества). Избыточное увлажнение зафиксировано в 2018 г.; оптимальное – в 2015, 2016 и 2019 гг.

Объект исследований – сорта ячменя пивоваренного направления селекции Омского АНЦ (Омский 90, Омский 95, Омский 100, Саша, Подарок Сибири), инорайонные (Гетьман – ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ) и зарубежные (Margret – Оригинатор Saaten-Union GMBH, Беатрис – Nordsaat Saatzucht GMBH, Деспина – Nordsaat Saatzucht GMBH), а также 13 линий, полученных на их основе: Саша × Гетьман (2 линии); Саша × Margret; Подарок Сибири × Гетьман (3 линии); Омский 95 × Беатрис (3 линии); Омский 95 × Деспина; Омский 95 × Viva; Омский 100 × Margret; Омский 90 × Margret. В качестве стандартного сорта выступал Омский 90.

Гибридизацию (25 комбинаций) проводили в 2011 г. В качестве материнских форм использовали сорта селекции Омского АНЦ (Омский 90, Омский 95, Омский 100, Саша и Подарок Сибири), в качестве отцовских – сорта инорайонной и иностранной селекции (Гетьман, Viva, Margret, Беатрис и Деспина). В каждой комбинации получено от 50 до 80 гибридных зерен, при завязываемости 80 %. Все гибридные популяции проходили следующие этапы селекционного процесса: 2011 г. – гибридный питомник; 2012 г. – селекционный питомник 1 года изучения (СП-I); 2013 г. – селекционный питомник 2 года изучения (СП-II); 2014–2017 гг. – контрольный питомник (КП); 2018–2020 гг. – питомник конкурсного сортоиспытания (КСИ).

На каждом этапе изучения проводили жесткий отбор путем сравнения как со стандартным сортом Омский 90, так и с родительскими сортами. Например, в гибридном питомнике было высеяно порядка 1500 зерен. В СП-I и СП-II по признакам продуктивности отбраковано в общей сложности 70 % гибридных популяций. В 2014 г., благодаря достаточному количеству зерна, оценку исследуемых линий проводили уже не только по урожайности, но и по показателям качества продукции. Из 426 гибридных популяций, поступивших в КП в 2014 г., в питомник конкурсного сортоиспытания в 2018 г. было передано 98 линий. В целом, селекция – это весьма трудозатратный процесс, в рамках которого из значительного объема селекционного материала необходимо отобрать по комплексу актуальных признаков наиболее перспективные линии. Как правило, доля отбора составляет 1...2 % от взятого в исследование материала, и лишь одну-две линии из набора в дальнейшем передают на Государственное сортоиспытание.

В статье представлены результаты исследований родительских сортов за 2015–2018 гг.; линий, которые отличались повышенной урожайностью и соответствовали требованиям пивоваренной промышленности – за 2018–2019 гг.; наиболее перспективных линий – 2019–2020 гг.

Ежегодно в Омском аграрном научном центре проводят оценку более 100 образцов ячменя пивоваренного направления отечественной и зарубежной селекции, наиболее перспективные из которых включают в программу гибридизации.

Сегодня сорта пивоваренного направления оценивают более чем по двадцати показателям, однако селекционеры, отбирая селекционный материал и проводя отбор в

1 . Качественные показатели сортов пивоваренного направления (среднее за 2015–2018 гг.)

Сорт	Содержание белка, %		Содержание крахмала, %		Пленчатость зерна, %		Экстрактивность зерна, %	
	$\bar{x}$	Lim	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.
Омский 90, st.	14,9	12,0...15,8	58,8	53,9...62,4	8,1	7,8...9,0	78,7	78,2...81,1
Омский 95	13,2	12,5...13,3	58,3	56,8...60,8	9,2	7,5...7,9	79,4	78,5...80,0
Омский 100	13,1	12,0...13,8	57,4	56,2...58,8	7,4	7,0...8,2	80,5	79,1...81,1
Саша	14,4	12,4...15,8	54,8	52,2...56,5	7,8	7,3...8,5	79,1	78,2...80,7
Подарок Сибири	14,1	12,4...15,4	56,7	52,9...59,5	8,3	8,1...9,3	79,9	79,2...81,1
Гетьман	16,5	14,0...16,9	55,2	52,6...58,5	7,6	6,6...8,4	78,2	78,0...79,0
Viva	13,9	11,7...15,0	56,0	54,8...57,1	7,8	7,3...8,5	80,8	79,1...81,6
Margret	15,3	12,1...15,6	57,6	56,5...58,5	7,7	6,2...9,3	80,9	78,8...81,8
Беатрис	12,6	10,8...14,5	55,2	52,6...58,5	7,9	6,6...8,2	80,6	79,4...81,8
Деспина	13,4	11,6...14,8	57,4	55,9...58,5	7,0	5,7...8,0	80,7	80,1...81,8
$\bar{x}$ по признаку	14,1	–	56,7	–	7,9	–	79,6	–
CV, %	8,3	–	2,4	–	7,4	–	8,0	–
$НСР_{05}$	1,1	–	0,5	–	0,3	–	2,9	–

2. Урожайные показатели сортов пивоваренного направления (среднее за 2015–2018 гг.)

Сорт	Масса 1000 зерен, г		Урожайность, т/га	
	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.
Омский 90, st.	51,8	51,1...53,4	4,2	4,0...4,9
Омский 95	47,0	43,7...51,2	6,0	5,2...6,1
Омский 100	53,6	51,5...54,6	5,0	4,8...5,3
Саша	55,9	50,6...57,3	4,5	4,2...6,1
Подарок Сибири	55,2	53,6...57,9	5,2	5,0...6,3
Гетьман	57,2	55,2...58,2	1,8	1,5...1,9
Viva	53,6	52,9...55,2	4,9	4,2...5,9
Margret	55,6	49,6...56,6	2,7	1,9...3,4
Беатрис	51,2	49,1...54,3	5,3	4,3...7,0
Деспина	56,8	53,8...60,7	2,7	2,3...2,9
$\bar{x}$ по признаку	53,4	–	4,2	–
CV, %	5,7	–	32,4	–
$НСР_{05}$	1,8	–	0,5	–

популяциях, опираются на несколько основных. Согласно ГОСТ-5060-86 это следующие признаки: экстрактивность не менее 75...78 %, масса 1000 зерен более 40 г, содержание белка не более 12 %.

Среди исследуемого селекционного материала наименьшим содержанием белка в зерне характеризовались отечественный сорт Омский 100 (13,1 %) и зарубежные – Беатрис и Деспина (12,6 и 13,4 %). В отдельные годы содержание белка в зерне этих сортов не превышало 10,8...12,5 % (табл. 1).

Основная масса углеводов зерна ячменя представлена крахмалом, который превращается в сбраживаемый экстракт (декстрин). Повышенное содержание крахмала увеличивает пивоваренную ценность ячменя. Литературные источники по-разному регламентируют его содержание в зерне пивоваренного ячменя: от 60...70 % [9] до 73...82 % [1]. Общепринятая норма массовой доли крахмала для пивоваренных сортов – 60...65 % [10, 11]. В 2015–2018 гг. средняя по опыту величина этого показателя составила 56,7 % (см. табл. 1). Наибольшей она была у стандарта Омский 90 и сорта Омский 95 (58,8 и 58,3 % соответственно).

Чем больше в зерне ячменя экстрактивных веществ, тем выше его пивоваренные качества. Величина этого показателя зависит главным образом от количества крахмала – чем его больше, тем выше экстрактивность [9]. В наших исследованиях самой высокой за 2015–2018 гг. (80,5...80,9 %) она была у сортов Омский 100, Viva, Margret, Беатрис и Деспина.

Пленчатость не регламентируется ГОСТ, но проходит контроль на промышленных предприятиях как «мякинная оболочка» и должна составлять в зависимости от года от 8 до 10 % [12]. Ячмень при пленчатости ниже указанного предела считают (ГОСТ 5060-49) тонкопленчатым (используют для производства светлых сортов пива), выше – грубопленчатым (подходит для изготовления темных сортов пива). В среднем по опыту пленчатость зерна ячменя составляла 7,9 %. Все исследуемые образцы в 2015–2018 гг. по этому признаку соответствовали требованиям ГОСТ. Оптимальная пленчатость отмечена у стандарта и сорта Подарок Сибири (8,1 и 8,3 %), максимальная – у сорта Омский 95 (9,2 %). Остальные исследуемые сорта характеризовались низкой пленчатостью (7,0...7,8 %).

Все исследуемые сорта соответствовали ГОСТ по массе 1000 зерен, в среднем в 2015–2018 гг. (табл. 2), наибольшей крупностью зерна характеризовались сорта Гетьман и Деспина (57,2 и 56,8 г).

Средняя по опыту урожайность в 2015–2018 гг. составила 4,2 т/га. Традиционно, у сортов местной селекции она была выше (4,2...6,0 т/га), чем у иностранных, благодаря адаптивным качествам [13, 14]. У образцов инорайонной и зарубежной селекции урожайность варьировала от 1,8 до 5,3 т/га, при самых высоких сборах зерна у сортов Viva и Беатрис (4,9 и 5,3 т/га).

При изучении 13 линий, которые отличались повышенной урожайностью (табл. 3) и соответствовали требованиям пивоваренной промышленности основным критерием отбора было пониженное содержание белка (поскольку селекция в этом случае направлена на снижение признака, все расчетные элементы имеют отрицательное значение). Эту задачу удалось выполнить, соблюдая высокую интенсивность отбора (i = -2,4...-12,0) (табл. 4). Несмотря на то, что у всех выделенных линий содержание белка значительно ниже средней величины этого показателя у родительских форм (-0,6...-3,0 %) (см. рисунок), дальнейший подробный анализ показал неоднозначность полученных результатов. Так, пониженной белковостью (-0,9...-1,3 % к средним величинам у родительских сортов) при депрессивном характере наследования (то есть возможно дальнейшее снижение признака) обладали только линии Омский 95 × Viva, Омский 90 × Margret, Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 100 × Margret, Омский 95 × Беатрис (1, 2, 3).

Аналогичную картину наблюдали по урожайности, что находит подтверждение у других авторов

3. Качественные и урожайные показатели выделившихся линий, по сравнению с родительскими сортами (среднее за 2018–2019 гг.)

Гибридная популяция	Содержание белка, %		Содержание крахмала, %		Экстрактивность зерна, %		Масса 1000 зерен, г		Урожайность, т/га	
	$(P_1+P_2)/2$*	популяция	$(P_1+P_2)/2$	популяция	$(P_1+P_2)/2$	популяция	$(P_1+P_2)/2$	популяция	$(P_1+P_2)/2$	популяция
Саша × Гетьман (1)	14,1	13,5	57,3	56,0	79,4	79,6	51,7	50,0	4,7	5,0
Саша × Гетьман (2)	14,6	13,8	56,3	56,2	79,1	79,3	52,7	49,3	4,2	4,8
Саша × Margret	14,1	11,1	57,3	58,8	79,4	82,0	51,7	52,1	4,7	5,1
Омский 95 × Viva	13,5	12,2	55,3	55,1	79,2	81,0	47,3	52,1	5,0	5,5
Омский 90 × Margret	14,4	12,7	55,9	57,8	79,1	81,0	51,3	54,5	3,8	4,2
Подарок Сибири × Гетьман (1)	14,6	12,9	54,5	57,2	79,3	80,2	54,3	50,6	4,6	5,0
Подарок Сибири × Гетьман (2)	14,6	14,0	54,5	56,2	79,3	79,2	54,3	50,0	4,6	5,5
Подарок Сибири × Гетьман (3)	14,6	13,5	54,5	54,9	79,3	79,5	54,3	48,9	4,6	5,8
Омский 100 × Margret	13,6	12,6	57,6	53,5	80,0	79,9	52,7	46,5	4,8	5,9
Омский 95 × Беатрис (1)	13,0	11,4	54,3	56,8	79,5	82,0	46,3	53,8	5,0	5,4
Омский 95 × Беатрис (2)	13,0	12,1	54,3	56,8	79,5	80,7	46,3	49,5	5,0	6,1
Омский 95 × Беатрис (3)	13,0	11,4	54,3	56,5	79,5	81,4	46,3	50,1	5,0	6,2
Омский 95 × Деспина	13,0	12,4	54,8	59,8	80,0	80,7	49,3	51,0	4,0	5,5
$\bar{x}$ по признаку	13,9	12,7	55,6	56,6	79,4	80,4	50,7	50,6	4,6	5,4
CV, %	4,8	8,0	2,4	2,8	0,3	1,3	6,0	4,0	8,2	10,1
$НСР_{05}$	0,4	0,4	1,0	0,9	0,2	0,2	0,9	0,7	0,1	0,1

$(P_1+P_2)/2$ – средние данные родительских форм

4. Выраженность и изменчивость качественных и урожайных показателей линий (среднее за 2018–2019 гг.)

Линия	Содержание белка, %		Содержание крахмала, %		Экстрактивность зерна, %		Масса 1000 зерен, г		Урожайность, т/га	
	*i**	hp	*i*	hp	*i*	hp	*i*	hp	*i*	hp
Саша × Гетьман (1)	-2,4	АДГ	-5,2	ДЭ	0,8	СД	-6,8	ДЭ	1,2	СД
Саша × Гетьман (2)	-3,2	НД	-0,4	ДЭ	0,8	СД	-13,6	ДЭ	2,4	СД
Саша × Margret	-12	ДЭ	6,0	СД	10,4	СД	1,6	ДЭ	1,6	СД
Омский 95 × Viva	-5,2	ДЭ	-0,8	ДЭ	7,2	СД	19,2	НД	2,0	НД
Омский 90 × Margret	-6,8	ДЭ	7,6	СД	7,6	СД	12,8	НД	1,6	ПД
Подарок Сибири × Гетьман (1)	-6,8	ДЭ	10,8	СД	3,6	СД	-14,8	ДЭ	1,6	НД
Подарок Сибири × Гетьман (2)	-2,4	СД	6,8	ПД	-0,4	ДЭ	-17,2	ДЭ	3,6	СД
Подарок Сибири × Гетьман (3)	-4,4	ПД	1,6	ДЭ	0,8	НД	-21,6	ДЭ	4,8	СД
Омский 100 × Margret	-4,0	ДЭ	-16,4	ДЭ	-0,4	ДЭ	-24,8	ДЭ	4,4	СД
Омский 95 × Беатрис (1)	-6,4	ДЭ	10,0	ДЭ	10	СД	30,0	СД	1,6	ДЭ
Омский 95 × Беатрис (2)	-3,6	ДЭ	10,0	СД	4,8	СД	12,8	НД	4,4	СД
Омский 95 × Беатрис (3)	-6,4	ДЭ	8,8	СД	7,6	СД	15,2	НД	4,8	СД
Омский 95 × Деспина	-2,4	НД	20,0	СД	2,8	СД	6,8	НД	6,0	СД

** i – интенсивность отбора; hp – степень доминирования: ПД – полное доминирование одного из родителей (hp=1); СД – сверхдоминирование (hp>1); ДЭ – депрессивный эффект (hp<-1); НД – неполное доминирование (0<hp<1); АДГ – аддитивное действие генов (hp=0).*

[15]. Высокая интенсивность отбора (*i*=1,2...6,0) способствовала тому, что все выделившиеся линии значительное превышали по величине этого показателя средние значения родительских форм (+0,3...+1,5 т/га) (см. рисунок). Однако сверхдоминирование признака наблюдали у линий – Подарок Сибири × Гетьман (3), Омский 100 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2, 3), Омский 95 × Деспина. Кроме того, они характеризовались наибольшим по опыту превышением среднего значения родительских форм (+1,1...+1,5 т/га) при высокой интенсивности отбора (*i*=4,4...6,0).

Повышенное содержание в зерне крахмала (+2,7...+5,0 % к средним у родительских форм), сверхдоминирование и высокая интенсивность отбора (*i*=8,8...20,0) были характерны для линий Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 95 × Беатрис (2, 3), Омский 95 × Деспина.

Наиболее экстрактивно зерно линий Омский 95 × Viva, Омский 90 × Margret, Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 95 × Беатрис (1, 2, 3) и Омский 95 × Деспина (+0,7...2,5 % экстрактивности к средним показателям родительских форм; *i*=2,8...10,4) при сверхдоминировании признака.

По крупности зерна лучшей оказалась популяция Омский 95 × Беатрис (1) (сверхдоминирование; +7,5 г к родительским сортам; *i*=30,0). Дополнительно возможно привлечение к дальнейшим исследованиям популяций с неполным доминированием признака лучшего из родителей Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2, 3) и Омский 95 × Деспина (+1,7...3,8 г; *i*=6,8...19,2).

По результатам анализа на соответствие пивоваренному направлению для дальнейших исследований были выделены наиболее перспективные образцы – Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Беатрис (3) (табл. 5). В первую очередь, они характеризовались пониженным содержанием белка (11,4 и 11,8 %). Кроме того, было отмечено повышенное содержание крахмала (56,5 и 54,9 %).

Разность массовых долей экстрактов тонкого и грубого помола указывает на степень растворения солода. У нормально растворенного солода она составляет от 1,2 до 1,8 %. Этому требованию соответствует образец Омский 95 × Беатрис (2).

Производство высококачественного солода возможно при доле стекловидных зерен в пределах 2...3 %. У образцов Омский 95 × Беатрис (2) и (3) величина этого показателя была равна 2,0 %.

Для солода высшего качества кислотность должна составлять 0,9...1,1 мл 1 н NAOH/100 г сусла. Этому требованию соответствовала линия Омский 95 × Беатрис (3).

Время осахаривания зависит от способности солода к растворению и от активности амилолитических ферментов. У солода высокого качества оно должно находится на уровне 10...15 минут. Прозрачность сусла (его мутность) не должна превышать 3 ед. мутности ЕВС. В нашем опыте оба исследуемых образца соответствовали этим критериям.

По урожайности в 2020 г. линии Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Беатрис (3) превысили стандарт на 0,7 т/га.

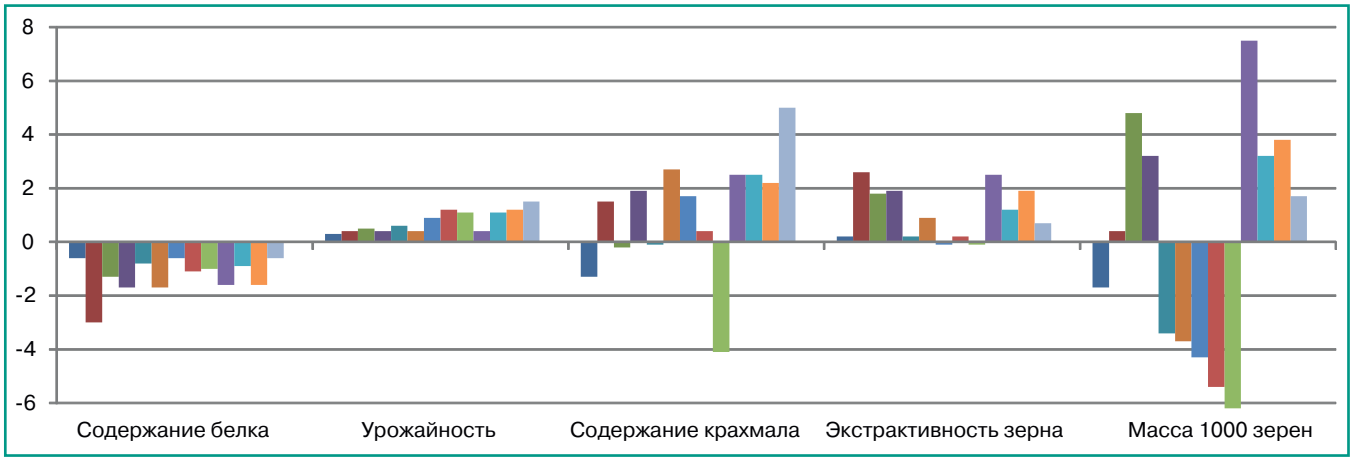


Рисунок. *Выраженность и изменчивость качественных и урожайных показателей гибридных популяций по отношению к среднему значению признаков у родительских форм, 2019 г.: ■ – Саша × Гетьман (1); ■ – Саша × Margret; ■ – Омской 95 × Viva; ■ – Омский 90 × Margret; ■ – Саша × Гетьман (2); ■ – Подарок Сибири × Гетьман (1); ■ – Подарок Сибири × Гетьман (2); ■ – Подарок Сибири × Гетьман (3); ■ – Омский 100 × Margret; ■ – Омский 95 × Беатрис (1); ■ – Омский 95 × Беатрис (2); ■ – Омский 95 × Беатрис (3); ■ – Омский 95 × Деспина.*

5. Выраженность и изменчивость качественных и урожайных показателей наиболее перспективных линий (среднее за 2019–2020 гг.)

Линия	Экстрактивность разности экстракта тонкого и грубого помола, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля крахмала, %	Осахаривание, мин	Кислотность, мл 1 н NaOH/100 г сусла	Цветность, ед. ЕВС	Доля стекловидных зерен в солоде, %	Урожайность, т/га
Омский 95 × Беатрис (2)	1,9	11,4	56,5	10,0	1,3	0,61	2,0	5,7
Омский 95 × Беатрис (3)	5,5	11,8	54,9	15,0	0,9	0,15	2,0	5,8
$\bar{x}$ по питомнику	2,9	12,4	55,9	13,6	1,2	0,29	1,5	5,8
$НСР_{05}$	0,4	0,3	0,25	1,0	0,3	0,15	0,3	0,1

Таким образом, по результатам длительных исследований продуктивности и качественных показателей пивоваренных сортов ячменя из значительного количества линий по комплексу признаков для дальнейших исследований были выделены две: Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Беатрис (3), что составило 0,12 % от полученного в 2011 г. гибридного материала. Эти линии характеризовались следующими показателями:

пониженное содержание белка в зерне (соответственно 11,4 и 11,8 %) при депрессивном характере наследования этого признака;

повышенная урожайность (5,7 и 5,8 т/га), экстрактивность зерна и содержание крахмала (56,5 и 54,9 %), при сверхдоминировании этих признаков;

высокая крупность зерна (46,3 г) при неполном доминировании одной из родительских форм;

пониженная доля стекловидных зерен (2,0 %);

соответствием норме по прозрачности сусла (0,61 и 0,15 ЕВС) и времени осахаривания (10 и 15 минут).

Кроме того, линия Омский 95 × Беатрис (2) характеризуется соответствием норме по разности массовых долей экстрактов тонкого и грубого помола (1,9 %); линия Омский 95 × Беатрис (3) соответствует норме по кислотности (0,9 мл 1н NAOH /100 г сусла).

Литература.

1. Продуктивность и качество пивоваренных сортов ярового ячменя в Центральном регионе РФ / Л. М. Ерошенко, А. Н. Ерошенко, М. М. Ромахин и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 40–43.

2. Система оценки пивоваренных свойств селекционного ячменя / К. В. Кобелев, А. В. Данилян, И. В. Селина и др. // Пиво и напитки. 2015. № 2. С. 40–41.

3. Пономарёва Ю. Н., Захарова О. А. Действие минеральных удобрений и регулятора роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2015. № 3 (27). С. 36–42.

4. Occurrence of Fusariumlangsethiae and T-2 and HT-2 Toxins in Italian Malting Barley / C. Morcia, G. Tumino, R. Ghizzoni, et al. // Toxins. 2016. No. 8. P. 247. doi: 10.3390/toxins8080247.

5. Natural Contamination with Mycotoxins Produced by FusariumGraminearum and Fusariumpoae in Malting Barley in Argentina / M. S. Nogueira, M. Martinez, M. V. Moreno, et al. // Toxins. 2018. Vol. 10. No. 2. P. 78. doi: 10.3390/toxins10020078.

6. Дубовик Д. В., Чуян О. Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий // Земледелие. 2018. № 2. С. 9–13.

7. Authentication of Brewery Products: Basic principles and Methodological Approaches / L. Oganesyants, R. Vafin, A. Galstyan, et al. // Foods and Raw Materials. 2019. Vol. 7. No. 2. P. 364–374. doi: 10.21603/2308-4057-2019-2-364-374.

8. Holland J. B., Bjornstad A., Frey K. J. Recurrent selection for broad Adaptation Affects Stability of Oat // Euphytica. 2002.Vol. 126. No. 2. P. 265–274.

9. Хоконова М. Б. Влияние способа уборки ячменя на урожайность и пивоваренные качества зерна // Инновационная наука. 2015. № 8-2(8). С. 86–89.

10. Соловьева Н.Ю. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов в условиях Центрального района Нечерноземной зоны: Дис… канд. биол. наук: 03.01.05, 2019, С. 19.

11. Головин В. В., Артемьева Е. А., Левакова О. В. Инновационная технология выращивания ярового ячменя на пивоваренные цели с использованием современных и перспективных сортов: Методическое пособие / В.В. Головин,. Рязань, 2007. 41 с.

12. Dextrin as the Main Turbidity Components in wort Produced from Major Malting Barley cultivars of Jiangsu province in China / G. Cai, X. Li, C. Zhang, et al. // Journal of the Institute of Brewing. 2016. Vol. 122. No. 3. P. 543–546.

13. Адаптивный потенциал сортов ярового ячменя селекции Омского аграрного научного центра / П. Н. Николаев, О. А. Юсова, П. В. Поползухин и др. // Земледелие. 2019. № 1. С. 35–38.

14. Новый перспективный сорт ярового ячменя Омский голозерный 4 / О. А. Юсова, П. Н. Николаев, Н. И. Аниськов и др. // Земледелие. 2020. № 2. С. 31–35.

15. Долженко Д. О., Шевченко С. Н. Генетический контроль показателей выхода зерна в диаллельном комплексе ярового ячменя // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 10. С. 34–42.

New promising lines of brewing barley bred at Omsk Agricultural Scientific Center

P. N. Nikolaev, O. A. Yusova, A.E. Krempa

Omsk Agrarian Scientific Center, prosp. Koroleva, 26, Omsk, 644012, Russian Federation

Abstract. *The studies aimed to select promising barley genotypes in the breeding material of Omsk Agricultural Research Center, which will exceed the parental varieties in terms of the main indicators of brewing properties. The objects of research were brewing varieties Omsky 90 (standard), Omsky 95, Omsky 100, Sasha, Podarok Sibiri, Getman, Beatris, Despina, as well as 13 lines obtained on the basis of this material: Sasha × Getman (2 lines), Sasha × Margret; Podarok Sibiri × Getman (3 lines); Omsky 95 × Beatris (3 lines); Omsky 95 × Despina; Omsky 95 × Viva; Omsky 100 × Margret; Omsky 90 × Margret. Hybridization was carried out in 2011, the evaluation was carried out in 2015–2020. At each stage of the study, a rigorous selection of breeding material was carried out by comparison with Omsky 90 and with parental varieties. Lines Omsky 95 × Beatris (2) and Omsky 95 × Beatris (3) were selected for further studies. They were characterized by the most successful combination of a complex of brewing features and productivity. The lines are distinguished by a low content of protein in the grain (11.4 and 11.8%, respectively), with a depressive nature of inheritance; increased yield (5.7 and 5.8 t/ha), grain extractivity and starch content (56.5 and 54.9%) with overdominance; high grain size (46.3 g) with incomplete dominance of one of the parental forms; a reduced proportion of vitreous grains (2.0%); compliance with the norm for the transparency of the wort (0.61 and 0.15 EBC) and the time of saccharification (10 and 15 minutes). Line Omsky 95 × Beatris (2) is characterized by compliance with the norm in terms of the difference in mass fractions of extracts of fine and coarse grinding (1.9%); Omsky 95 × Beatris (3) – of acidity (0.9 mL 1N NAOH / 100 g of wort).*

Keywords: *barley (Hordeum vulgare L.); genotype; brewing qualities; yield; degree of dominance; intensity of selection.*

Author Details: *P. N. Nikolaev, Cand. Sc. (Agr.), head of laboratory (e-mail: nikolaevpetr@mail.ru); O. A. Yusova, Cand. Sc. (Agr.), head of laboratory; A. E. Krempa, specialist.*

For citation: *Nikolaev PN, Yusova OA, KrempaAE. [New promising lines of brewing barley bred at Omsk Agricultural Scientific Center]. Zemledelie. 2022;(1):39-43. Russian. doi:10.24412/0044-3913-2022-1-39-43.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-44-48
УДК 633.16: 632.51

Влияние баковых смесей гербицидов на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность ячменя сорта Ача

А. В. БОБРОВСКИЙ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: aleksandr_bobrovski@mail.ru)
Н. С. КОЗУЛИНА, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
А. В. ВАСИЛЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
А. А. КРЮЧКОВ, старший научный сотрудник
Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», просп. Свободный, 66, Красноярск, 660041, Российская Федерация

Влияние гербицидов на фитосанитарное состояние и продуктивность ярового ячменя сорта Ача изучали в 2019–2020 гг. на стационаре «Минино», расположенном в лесостепной зоне Красноярского края. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный, содержание подвижного фосфора от 16,8 до 25,4 мг/100 г, подвижного калия – от 11,5 до 15,5 мг/100 г почвы (ГОСТ 26204-91). Предшественник – чистый пар. Норма высева 5,0 млн всхожих семян/га. Изучали две баковые смеси гербицидов: Балерина Супер (0,5 л/га) + Ластик Экстра (0,5 л/га) и Элант Премиум (0,8 л/га) + Фабрис (1,0 л/га). В контроле гербициды не применяли. Обработку посевов осуществляли в фазе кущения. Преобладающими видами сорных растений в посеве были овсюг (Avena fatua L.), ежовник обыкновенный (Echinochloa crusgalli (L.) Beauv.), щирица запрокинутая (Amaranthus retroflexus L.), бодяк щетинистый (Cirsium setosum (Willd.) Bess.), осот полевой (Sonchus arvensis L.). Отмечена высокая техническая эффективность исследуемых баковых смесей: Балерина Супер + Ластик Экстра – 92,7 %, Элант Премиум + Фабрис – 93,2 %. Применение гербицидов позволило увеличить выживаемость растений к уборке с 56,9 % в контроле до 76,9 %. Урожайность ячменя в контроле составила 2,33 т/га, в варианте с обработкой баковой смесью препаратов Балерина Супер + Ластик Экстра – 2,79 т/га (прибавка к контролю 19,7 %), баковой смесью Элант Премиум + Фабрис – 2,73 т/га (прибавка 17,9 %).

Ключевые слова: *яровой ячмень (Hordeum vulgare L.), сорные растения, гербициды, техническая эффективность, структура урожая, урожайность*

Для цитирования: *Влияние баковых смесей гербицидов на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность ячменя сорта Ача / А. В. Бобровский, Н. С. Козулина, А. В. Василенко и др. // Земледелие. 2022. №1. С. 44–48. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-44-48.*

Яровой ячмень – важная продовольственная, кормовая и техническая культура. Из его зерна готовят перловую и ячневую крупу, а также муку, которую при необходимости в количестве 20...25 % можно примешивать к ржаной или пшеничной при хлебопечении. Ячмень – одна из основных культур, которая в наибольшей степени отвечает зоотехническим нормам по питательной ценности. Концентрированный корм из его зерна незаменим при откорме свиней, особенно для производства мяса и шпика самого высокого качества, а также при откорме птицы, повышая яйценоскость и мясную продуктивность [1].

Восточная Сибирь благоприятная зона для выращивания ячменя. Основные площади этой культуры сосредоточены в Красноярском крае – 144,7 тыс. га, или немного более 13,0 % посевной площади, занятой зерновыми. В региональных производственных посевах по уровню урожайности эта культура лидирует среди зерновых (более 24,0 ц/га), превышая величину этого показателя у пшеницы и овса на 2...4 ц/га. При этом по отдельным земледельческим зонам края она варьирует от 12 до 50 ц/га [2].

Засоренность посевов – одна из причин снижения урожайности ярового ячменя. Сорные растения причиняют большой вред, снижая продуктивность посевов культуры и качество выращенного зерна [3, 4, 5]. В условиях Красноярского края в агроценозах зерновых культур встречается 91 вид сорных растений, из которых двудольные сорняки составляют 88 %, однодольные (злаковые) – 11 %, споровые – 1 % [6].

В создании благополучного фитосанитарного состояния посевов и продуктивного агроценоза ячменя большую роль играет система интегрированной защиты растений, включающая различные методы: агротехнический, биологический и химический. К сожалению, в современных условиях снижение вредоносности сорного компонента агрофитоценозов одними агротехническими и биологическими способами практически невозможно. В связи с этим возрастает роль применения гербицидов [7].

Таким образом, разработка эффективной защиты ячменя от сорных растений позволит снизить негативное воздействие сорняков на культуру в течение вегетационного периода, что будет способствовать повышению урожайности и качества произведенной продукции.

Цель исследования – изучить влияние баковых смесей гербицидов на фитосанитарное состояние посевов, выживаемость растений к уборке, структуру урожая и продуктивность ярового ячменя сорта Ача в условиях Красноярской лесостепи.

Условия, материалы и методы. Работу проводили в 2019–2020 гг. на стационаре «Минино» Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенного в Красноярской лесостепи. Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным, тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Среднее содержание гумуса (ГОСТ 26213-84) составляло 4,5...5,5 %. Обеспеченность почвы нитратным азотом (ГОСТ 26951-86) была низкой в течение всего вегетационного периода и не превышала 4,0...4,5 мг/кг. Содержание в почве экспериментального участка подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) изменялось от 16,8 до 25,4 мг/100 г, подвижного калия (ГОСТ 26204-91) – от 11,5 до 15,5 мг/100 г почвы.

Предшественник – чистый пар. Повторность опыта – четырехкратная. Учётная площадь делянки – 0,2 га. Обработка почвы типовая для зоны: осенью вспашка с оборотом пласта на глубину 20...22 см, весной ранневе-

1. Характеристика метеорологических условий вегетационного периода лет исследований, агрометеостанция «Минино»

Месяц	Температура воздуха, ^{0}C			Количество осадков, мм		
	2019 г.	2020 г.	средне-многолетнее	2019 г.	2020 г.	средне-многолетнее
Май	10,1	14,4	10,4	20,0	69,0	44,0
Июнь	18,1	16,2	15,9	44,3	106,3	63,0
Июль	18,8	19,4	18,7	80,0	119,6	76,0
Август	18,2	18,5	15,7	58,0	70,0	67,0

сеннее боронование с культивацией. Посев проводили сеялкой СН-16 с нормой высева 5,0 млн всхожих семян/га с последующим прикатыванием. Обработку посевов баковой смесью гербицидов осуществляли опрыскивателем ОНМ-400. Уборку урожая выполняли комбайном Сампо-500.

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ прикладной статистики SNEDECOR [8].

Схема опыта включала следующие варианты:

контроль (без обработки гербицидами);

Балерина Супер, СЭ, 0,5 л/га + Ластик Экстра, КЭ, 1,0 л/га;

Элант Премиум, КЭ, 0,8 л/га + Фабрис, ЭМВ, 1,0 л/га.

Эти препараты широко используют при производстве зерновых культур и, в частности, ярового ячменя в Красноярском крае. Новизна исследований состоит в сравнительной оценке эффективности изучаемых баковых смесей против сорных растений в посеве ярового ячменя, а также в изучении сортовой реакции ячменя на применение препаратов в условиях Красноярской лесостепи.

Балерина Супер, СЭ – гербицид системного действия для уничтожения однолетних двудольных, в том числе устойчивых к 2,4-Д и МЦПА, и некоторых многолетних корнеотпрысковых сорняков в посевах зерновых культур, действующее вещество – 2,4-Д (сложный 2-этилгексиловый эфир) + флорасулам;

Ластик Экстра, КЭ – селективный системный гербицид для борьбы со злаковыми сорняками в посевах зерновых культур; действующее вещество – феноксапроп-П-этил + антидот клоквинтосет-мексил;

Элант Премиум, КЭ – послевсходовый гербицид системного действия, предназначенный для уничтожения однолетних и многолетних двудольных сорняков в посевах зерновых культур; действующее вещество – 2,4-Д + дикамба (сложные 2-этилгексиловые эфиры);

Фабрис, ЭМВ – высокоселективный гербицид для послевсходовой обработки пшеницы и ячменя против широкого спектра злаковых сорняков; действующее вещество – феноксапроп-П-этил + антидот клоквинтосет-мексил (*Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Москва: Издательство «Листерра», 2020. 920 с.*).

В качестве объекта исследования использовали сорт ярового ячменя Ача. Среднеспелый, продолжительность вегетационного периода составляет 75…80 суток. Урожайность – 40,9 ц/га, масса 1000 зёрен – 40,8 г. Относится к группе пивоваренных сортов. Засухоустойчивость выше средней. Устойчив к полеганию, восприимчив к пыльной головне (*Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1 «Сорта растений». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 719 с.*). Известно [9], что сорт ярового ячменя Ача толерантен к гербицидам на основе феноксапроп-П-этила, применение таких препаратов в фазе кущения при строгом со-

2. Техническая эффективность баковой смеси гербицидов Балерина Супер, СЭ + Ластик Экстра, КЭ в посевах ярового ячменя сорта Ача, стационар Минино (2019–2020 гг.)

Вид сорного растения	Число сорных растений, шт./м^2		Гибель сорных растений, %	Сырая масса сорных растений, г/м^2		Снижение массы сорных растений, %
	до обработки	45 день после обработки		до обработки	45 день после обработки	
2019 г.						
Контроль (без обработки гербицидами)	82,9	–	–	324,0	–	–
Баковая смесь гербицидов						
Аистник обыкновенный (*Erodium cicutarium* (L.) L'Herit.)	0,7	0,0	100,0	3,6	0,0	100,0
Бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.)	1,6	0,0	100,0	7,9	0,0	100,0
Ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.)	21,1	3,4	83,9	69,4	3,2	95,4
Конопля сорная (*Cannabis sativa* ssp. spontanea Serebr)	8,9	1,2	86,5	16,8	1,1	93,4
Марь белая (*Chenopodium album* L.)	0,8	0,0	100,0	7,2	0,0	100,0
Овёс пустой, овсюг (*Avena fatua* L.)	30,7	1,2	96,1	97,4	7,9	91,9
Осот полевой (*Sonchus arvensis* L.)	8,7	0,1	98,8	37,8	0,8	97,8
Пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit* L.)	0,6	0,0	100,0	2,9	0,0	100,0
Просо волосовидное (*Panicum capillare* L)	1,2	0,0	100,0	6,7	0,0	100,0
Щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)	0,5	0,0	100,0	5,6	0,0	100,0
Щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.)	8,8	0,2	97,7	35,9	1,3	96,4
Всего	83,6	6,1	92,7	291,2	14,3	95,1
$НСР_{05}$			3,22			3,84
2020 г.						
Контроль (без обработки гербицидами)	76,9	–	–	294,3	–	–
Баковая смесь гербицидов						
Аистник обыкновенный (*Erodium cicutarium* (L.) L'Herit.)	3,0	0,0	100,0	3,6	0,0	100,0
Бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.)	3,0	0,3	90,0	7,9	0,5	93,7
Ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.)	16,0	2,3	85,6	51,3	2,6	94,9
Конопля сорная (*Cannabis sativa* ssp. spontanea Serebr)	3,8	0,4	89,5	19,8	2,7	86,4
Марь белая (*Chenopodium album* L.)	3,6	0,0	100,0	7,2	0,0	100,0
Овёс пустой, овсюг (*Avena fatua* L.)	22,1	2,3	96,1	86,3	6,5	92,5
Осот полевой (*Sonchus arvensis* L.)	9,2	0,4	95,6	37,8	1,4	96,3
Просо волосовидное (*Panicum capillare* L)	2,6	0,3	88,5	6,7	0,4	94,0
Щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)	1,9	0,2	89,5	5,6	0,3	94,6
Щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.)	6,1	0,3	95,1	35,9	2,8	92,2
Всего	71,3	6,5	90,9	262,1	17,2	93,4
$НСР_{05}$			4,36			3,85

Рисунок. *Действие исследуемых баковых смесей гербицидов на 15 день после обработки посевов ярового ячменя (фото 10 июля 2020 г): а) Балерина Супер + Ластик Экстра; б) Элант Премиум + Фабрис.*

блюдении регламента уменьшает риск травмирования культуры и снижения урожайности.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений на экспериментальных участках проводили визуально в двух повторениях. Началом фазы считали дату, когда в нее вступало 10 % растений, окончанием – 75 % растений. Учёт засорённости посевов осуществляли перед применением гербицидов и на 15, 30, 45 сутки после обработки, для этого использовали рамку 0,25 м^2. Подсчитывали общее количество сорняков, определяли их видовой состав и массу.

Погодные условия лет исследований были разнообразными (табл. 1). Распределение осадков в течение вегетационного периода 2019 г. было неравномерным. Май и июнь выдались засушливыми, количество выпавших осадков было на 24,0 и 18,7 мм ниже среднемноголетнего уровня. В июле величина этого показателя превышала норму и составляла 80 мм, в августе выпало 58 мм осадков при среднемноголетней сумме 67 мм. Температурный фон вегетационного периода был близким к норме в июле и выше среднемноголетней нормы в июне на 2,2 ^{0}С, в августе – на 2,5 ^{0}С.

Вегетационный период 2020 г. во все месяцы был достаточно увлажнённый. Наибольшее количество осадков выпало в июне и июле. Весна 2020 г. была тёплой, среднемесячная температура мая составила 14,2 ºС. В июне и июле температура воздуха на-

3. Техническая эффективность баковой смеси гербицидов Элант Премиум + Фабрис в посевах ярового ячменя сорта Ача (2019–2020 гг.)

Вид сорного растения	Число сорных растений, шт./м^2		Гибели сорных растений, %	Сырая масса сорных растений, г/м^2		Снижение массы сорных растений, %
	до обработки	45 день после обработки		до обработки	45 день после обработки	
2019 г.						
Контроль (без обработки гербицидами)	75,8	–	–	355,9	–	–
Баковая смесь гербицидов						
Бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.)	4,1	0,2	95,1	23,4	2,9	87,6
Ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.)	19,3	2,0	89,6	89,5	3,7	95,9
Марь белая (*Chenopodium album* L.)	0,7	0,1	85,7	3,0	0,2	93,3
Овёс пустой, овсюг (*Avena fatua* L.)	34,6	2,8	91,9	122,6	11,6	90,5
Осот полевой (*Sonchus arvensis* L.)	7,0	0,1	98,6	51,9	1,9	96,3
Просо волосовидное (*Panicum capillare* L)	2,5	0,2	92,0	7,9	1,1	86,1
Щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.)	7,5	0,2	97,3	42,6	1,7	96,0
Щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)	1,5	0,1	93,3	7,0	0,2	97,1
Щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)	1,5	0,1	93,3	7,0	0,2	97,1
Всего	77,2	5,7	92,6	347,9	24,4	93,0
$НСР_{05}$			5,77			4,36
2020 г.						
Контроль (без обработки гербицидами)	68,1	–	–	274,0	–	–
Баковая смесь гербицидов						
Аистник обыкновенный (*Erodium cicutarium* (L.) L'Herit.)	0,9	0,3	66,7	4,8	0,5	89,6
Бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.)	3,5	0,3	91,4	12,5	1,3	89,6
Ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.)	15,0	1,1	92,7	51,0	2,8	94,5
Марь белая (*Chenopodium album* L.)	0,5	0,1	80,0	2,5	0,3	88,0
Овёс пустой, овсюг (*Avena fatua* L.)	25,4	1,9	92,5	81,9	8,1	90,1
Осот полевой (*Sonchus arvensis* L.)	9,5	0,3	96,8	45,9	2,9	93,7
Просо волосовидное (*Panicum capillare* L)	1,2	0,0	100,0	7,3	0,0	100,0
Щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)	1,4	0,1	92,9	7,2	0,7	90,3
Щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.)	7,2	0,3	95,8	30,6	1,5	95,1
Всего	64,6	4,4	93,2	243,7	18,1	92,6
$НСР_{05}$			4,96			3,74

4. Полевая всхожесть и выживаемость растений к уборке (среднее по 10 точкам)

Вариант	Число растений, шт./м²				Выживаемость к уборке, %	
	в фазе всходов до обработки баковой смесью гербицидов		к уборке на 75 день после обработки баковой смесью гербицидов			
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Контроль	257,0	273,0	152,7	156,9	59,4	57,5
Балерина Супер + Ластик Экстра	297,0	309,4	231,6	237,0	78,0	76,6
Элант Премиум + Фабрис	289,6	304,7	223,7	226,3	77,2	74,3
$НСР_{05}$	14,4	14,9	9,4	10,2		

ходилась на уровне нормы. Август был теплее среднемноголетних значений на 2,8 ºС.

Для оценки технической эффективности гербицидов зафиксировали по 5 точек в каждом варианте с наибольшим количеством сорняков. Тип засорения опытного участка в годы исследований – злаково-двудольный. Степень засорения по шкале ЦИНАО – средняя. В годы проведения исследований преобладающими видами сорных растений были овсюг (*Avena fatua* L.), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.), щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.).

Засорённость посевов ярового ячменя на фиксированных площадках в варианте опыта с применением баковой смеси гербицидов Балерина Супер, СЭ + Ластик Экстра, КЭ в 2019 г. составляла 83,6 шт./м², в 2020 г. – 71,3 шт./м² (табл. 2), в среднем за два года – 77,5 шт./м². Применение указанной баковой смеси гербицидов позволило значительно снизить количество и массу сорных растений. Ее эффективность в 2019 г. составила 92,7 %, в 2020 г. – 90,9 %, масса сорных растений на 45 день учёта при этом снизилась соответственно на 95,1 % и 93,4 %.

Воздействие гербицидов на сорные растения отмечали на 7 день в виде изменения цвета поверхности листьев аистника обыкновенного с зеленого на красный, а также появления белых точек на листьях овсюга. Через 15 дней отчетливо наблюдали общее угнетение сорных растений (см. рисунок). При учете засоренности на 45 день после обработки баковой смесью гербицидов численность сорняков в 2019 г. была равна 6,1 шт./м², в 2020 г. – 6,5 шт./м². Основная часть двудольных сорняков погибла или была слаборазвитой, отмечено сильное угнетение овсюга.

Засорённость экспериментальных делянок перед обработкой баковой смесью гербицидов Элант Премиум и Фабрис в 2019 г. находилась на уровне 77,2 шт./м², в 2020 г. – 64,6 шт./м² (табл. 3). В среднем количество сорных растений за два года исследований составило 70,9 шт./м². Опрыскивание посевов гербицидами снизило количество сорных растений на 45 день до 5,7 шт./м² и до 4,4 шт./м² соответственно. Одновременно масса сорных растений в посеве в среднем сократилась в 2019 г. на 93,0 %, в 2020 г. – на 92,6 %.

Таким образом, исследуемые баковые смеси гербицидов показали высокую эффективность против двудольных и злаковых сорных растений в посеве ярового ячменя. У баковой смеси Балерина Супер + Ластик Экстра за два года исследований она составила 91,9 %, Элант Премиум + Фабрис – 92,9 %, что можно охарактеризовать как очень хороший результат.

В засорённых посевах снижается полевая всхожесть и выживаемость культурных растений к уборке. Это связано, прежде всего, с тем, что представители сорных видов интенсивно поглощают питательные вещества из почвы и удобрений. Кроме того, их надземная масса способна сильно затенять культурные растения, заметно снижая коэффициент использования ФАР (фотосинтетически активная радиация) посева и температуру верхних слоёв почвы, что оказывает отрицательное влияние на микробиологические процессы. Также сорные растения активно конкурируют за доступную влагу.

Использование исследуемых баковых смесей гербицидов позволило увеличить полевую всхожесть и выживаемость к уборке растений ярового ячменя сорта Ача. В контроле выживаемость к уборке в 2019 г. составила 59,4 %, в 2020 г. – 57,5 %. При обработке посевов баковой смесью гербицидов Балерина Супер + Ластик Экстра величина этого показателя возросла соответственно до 78,0 % и 76,6 %, Элант Премиум + Фабрис – до 77,2 % и 74,3 % (табл. 4).

Благодаря правильному использованию гербицидов на устойчивых сортах урожайность можно увеличить на 20 % и более. При их применении на чувствительных сортах урожайность может снизиться, это необходимо учитывать при обработке посевов гербицидами [10]. Сорт ярового ячменя Ача толерантен к препаратам на основе феноксапроп-П-этила, исследуемые гербициды не оказали угнетающего действия на культурные растения. Достоверного снижения биометрических показателей, в сравнении с контролем, не наблюдали (табл. 5).

5. Биометрические показатели ярового ячменя сорта Ача в зависимости от применения баковых смесей гербицидов, фаза колошения

Вариант	Высота растений, см		Количество растений в фазе колошения, шт.		Количество стеблей в фазе колошения, шт.		Среднее число стеблей на 1 растение	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Контроль	74,9	77,5	57,7	60,2	120,0	124,0	2,1	2,1
Балерина Супер + Ластик Экстра	76,9	80,6	66,5	68,0	161,0	169,0	2,4	2,5
Элант Премиум + Фабрис	81,2	79,4	66,8	71,3	162,3	165,7	2,4	2,3
$НСР_{05}$	1,57	1,87	3,50	4,03	6,83	7,16	0,25	0,20

В среднем за два года исследований в контрольном варианте высота растений составила 76,2 см, количество растений – 59,0 шт./м², количество стеблей – 122,0 шт./м², среднее число стеблей на 1 растение – 2,1 шт. При обработке посевов баковой смесью гербицидов Балерина Супер + Ластик Экстра высота растений была больше, чем в контроле, на 2,5 см, смесью Элант Премиум + Фабрис – на 4,5 см. Кроме того, увеличивалось количество растений и количество стеблей на 1 растение.

Продуктивность растений во многом зависит от параметров элементов

6. Элементы структуры урожая ячменя сорта Ача в зависимости от обработки посевов баковой смесью гербицидов (среднее за 2019–2020 гг.)

Вариант	Высота стебля с колосом, см	Средняя длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Контроль	72,7	6,0	36,4	42,8
Балерина Супер + Ластик Экстра	82,8	8,5	49,5	45,2
Элант Премиум + Фабрис	80,5	8,4	51,5	44,6
$НСР_{05}$	4,6	0,4	1,4	0,8

7. Урожайность ячменя сорта Ача и экономическая эффективность применения баковых смесей гербицидов

Вариант	Урожайность, т/га			Затраты на производ-ство, руб./га	Стоимость продукции, руб./га	Доход (за вычетом затрат), руб./га	Уровень рентабельности, %
	2019 г.	2020 г.	средняя				
Контроль	2,30	2,36	2,33	19000	23300	4300	22,6
Балерина Супер + Ластик Экстра	2,71	2,87	2,79	20750	27900	7150	34,5
Элант Премиум + Фабрис	2,64	2,82	2,73	21200	27300	6100	28,8
$НСР_{05}$	0,07	0,08	–	19000	23300	4300	22,6

структуры урожая (табл. 6). В контроле средняя высота стебля с колосом составляла 72,7 см, длина колоса – 5,9 см, масса 1000 зерен – 42,6 г. Применение исследуемых баковых смесей гербицидов способствовало снижению негативного воздействия сорных растений на ячмень, что обеспечивало увеличение всех показателей структуры урожая. Так, высота стебля с колосом была выше, чем в контроле, на 7,8...9,8 см, длина колоса – на 2,4...2,5 см, озернённость колоса – на 13,1...15,1 зерен.

Урожайность – один из главных показателей, характеризующих эффективность применения гербицидов. В контрольном варианте в среднем за годы исследований она составила 2,33 т/га. Использование баковой смеси гербицидов Балерина Супер + Ластик Экстра позволило получить прибавку, в сравнении с контролем, на уровне 0,46 т/га, или 19,7 %. Обработка посевов ярового ячменя баковой смеси гербицидов Элант Премиум + Фабрис увеличило сбор зерна культуры на 0,40 т/га, или 17,2 %. Следует отметить, что в 2019 г. урожайность во всех вариантах опыта была ниже, чем в 2020 г., что объясняется метеоусловиями года (табл. 7).

Один из основных критериев целесообразности использования пестицидов – экономическая эффективность. Уровень рентабельности в контрольном варианте, без применения гербицидов составил 22,6 %. Обработка изучаемыми баковыми смесями позволила снизить засорённость посевов, увеличить урожайность ярового ячменя и, как следствие, повысить уровень рентабельности. В варианте с гербицидами Балерина Супер и Ластик Экстра он составил 34,5 %, Элант Премиум и Фабрис – 28,8 %.

Таким образом, применение исследуемых баковых смесей гербицидов в рекомендованной производителем дозировке в посевах ячменя позволяет эффективно бороться с широким спектром сорных растений. На опытных площадках было уничтожено подавляющее большинство сорной растительности. Эффективность баковой смеси Балерина Супер + Ластик Экстра за два года исследований составила 91,9 %, Элант Премиум + Фабрис – 92,9 %.

Обработка посевов гербицидами повышала выживаемость растений ячменя сорта Ача к уборке, в сравнении с контролем, на 17,5...18,8 %. Одновременно возрастали величины показателей элементов структуры урожая: высота стебля с колосом – на 7,8...9,8 см, длина колоса – на 2,4...2,5 см, озернённость колоса – на 13,1...15,1 шт.

Снижение неблагоприятного воздействия сорных растений позволило увеличить продуктивность посевов ячменя. Максимальная в опыте урожайность отмечена при использовании гербицидов Балерина Супер + Ластик Экстра – 2,79 т/га (прибавка к контролю 0,46 т/га, или 19,7 %). В варианте с баковой смесью Элант Премиум + Фабрис она составила 2,73 т/га (прибавка 0,40 т/га, или 17,2 %).

Литература.

1. Сурин Н. А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овёс). Новосибирск: СО Россельхозакадемии, 2011. 708 с.

2. Сурин Н. А., Ляхова Н. Е. Культура ячменя в Восточной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. № 4. С. 52–65.

3. Информативность спектральных вегетационных индексов для оценки засоренности посевов сельскохозяйственных культур по наземным и спутниковым данным / Т. И. Письман, М. Г. Ерунова, И. Ю. Ботвич и др. // Исследование земли из космоса. 2021. №3. С. 55–66.

4. Липский С. И., Пантюхов И. В., Ивченко В. К. Эффективность гербицидов АО «Байер» в борьбе с сорными растениями в посевах зерновых культур // Вестник КрасГАУ. 2018. № 3. С. 12–19.

5. Биологическое обоснование возможности применения гербицидов в разные фазы развития зерновых культур / А. С. Голубев, Т. А. Маханькова, В. И. Долженко и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. №1. С. 20–24.

6. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: Руководство. Красноярск: МСХ Красноярского края; Красноярский НИИСХ; Красноярский ГАУ, 2015. 594 с.

7. Тимофеев В.Н., Вьюшина О.А. Эффективность гербицидов на ячмене в зависимости от фона обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 19–27.

8. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.

9. Садохина Т.П. Химическая защита ярового ячменя // Защита и карантин растений. 2011. № 4. С. 30–32.

10. Сортовая устойчивость зерновых культур к новым гербицидам / В.И. Долженко, А.А. Петунова, Т.А. Маханькова и др. // Агро XXI. 2008. № 4-6. С. 37–41.

Influence of tank mixtures of herbicides on the phytosanitary condition and productivity of barley cv. Acha

A. V. Bobrovskij, N. S. Kozulina, A. V. Vasilenko, A. A. Krjuchkov
Krasnoyarsk Agricultural Research Institute, Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center», Siberian branch, Russian Academy of Sciences, prosp. Svobodnyi, 66, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Abstract. *The effect of herbicides on the phytosanitary condition and productivity of spring barley cv. Acha was studied in 2019–2020 at the stationary experimental fields "Minino", located in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory. The soil of the experimental plot was leached chernozem, the content of mobile phosphorus was from 16.8 to 25.4 mg/100 g, mobile potassium – from 11.5 to 15.5 mg/100 g of soil (GOST 26204-91). The forecrop is bare fallow. The seeding rate was 5.0 million germinating seeds per hectare. Two tank mixtures of herbicides were studied: Balerina Super (0.5 L/ha) + Lastik Extra (0.5 L/ha) and Elant Premium (0.8 L/ha) + Fabris (1.0 L/ha). No herbicides were used in the control. The processing of crops was carried out in the tillering phase. The predominant species of weeds in crops were wild oats (Avena fatua L.), barnyard grass (Echinochloa crusgalli (L.) Beauv.), green amaranth (Amaranthus retroflexus L.), yellow thistle (Cirsium setosum (Willd.) Bess.), field sow thistle (Sonchus arvensis L.). The high technical efficiency of the studied tank mixtures was noted: Balerina Super + Lastik Extra – 92.7%, Elant Premium + Fabris – 93.2%. The use of herbicides made it possible to increase the survival rate of plants before harvesting from 56.9% in the control to 76.9%. The yield of barley in the control was 2.33 t/ha, in the variant of Balerina Super + Lastik Extra – 2.79 t/ha (the increase relative to the control was 19.7%), for the mixture of Elant Premium + Fabris – 2.73 t/ha (the increase was 17.9%).*

Keywords: *spring barley (Hordeum vulgare L.); weeds; herbicides; technical efficiency; crop structure; yield.*

Author details: *A. V. Bobrovskij, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: aleksandr_bobrovski@mail.ru); N. S. Kozulina, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; A. V. Vasilenko, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; A. A. Krjuchkov, senior research fellow.*

For citation: *Bobrovskij AV, Kozulina NS, Vasilenko AV, et al. [Influence of tank mixtures of herbicides on the phytosanitary condition and productivity of barley cv. Acha]. Zemledelie. 2022;(1):44-8. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-1-44-48.*

Серия **F-RING** | 185 / 240 / 320 Вт

верхний свет

Серия **UNIVERSALED** | 80 / 130 / 185 / 235 Вт

верхний свет

Серия **F-MATRIX** | 100 / 150 / 195 / 300 Вт

оранжереи и «зеленые стены»

Серия **F-OPTIMA** | 30 / 50 / 60 / 100 Вт

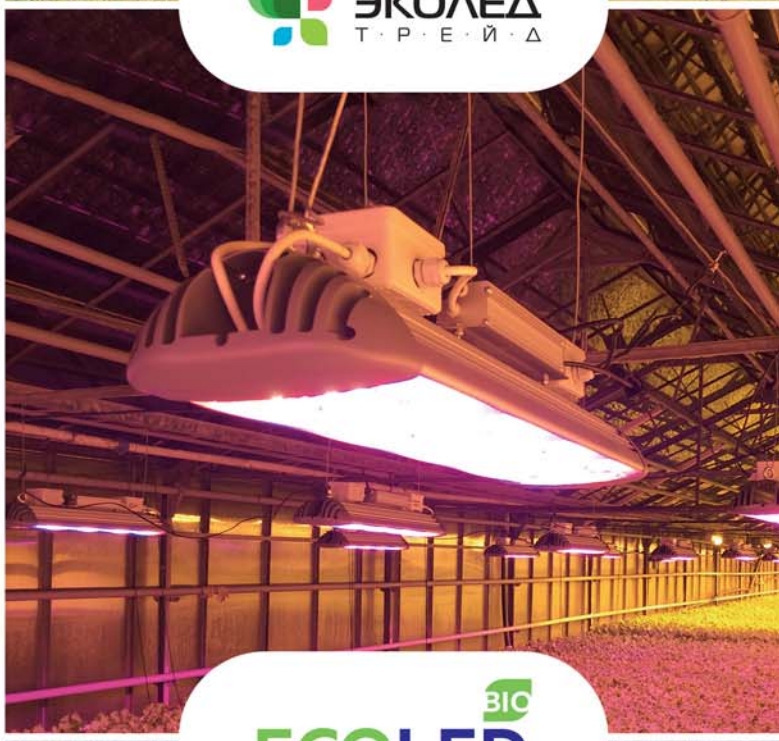
светильники межрядной досветки

Серия **F-SFERA** | 25 / 50 / 75 Вт

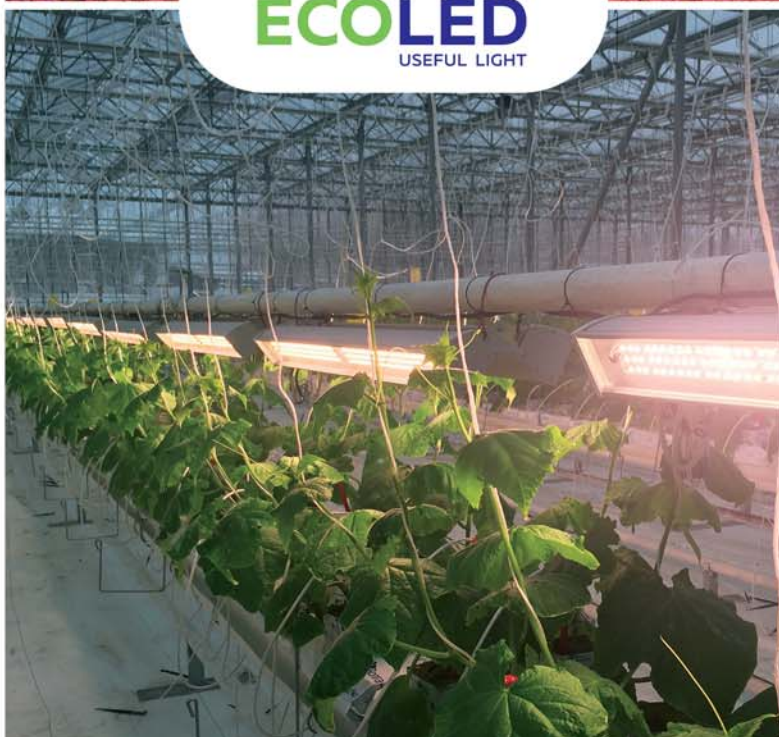
многоярусные сити-фермы

ООО «ЭКОЛЕД-ТРЕЙД»
тел.: 8 495 134 52 02
www.ecoledbio.ru
Москва, ул. Кольская, 1, оф. 210

ЭКОЛЕД
Т·Р·Е·Й·Д



BIO
ECOLED
USEFUL LIGHT



КРУЙЗЕР® МАКС

СТАБИЛЬНЫЙ РОСТ СОИ ДАЖЕ В ХОЛОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Технология защиты сои от комплекса корневых гнилей, вредителей и септориоза с активным ростом культуры даже в холодных условиях

Круйзер® Макс

syngenta®

Агроподдержка Сингенты
Получите совет эксперта
syngenta.ru

®

ISSN 0044-3913. Земледелие. 2022. № 1.1 - 48. Индекс 70329.