3.2022

ISSN 0044-3913

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

EKONIVA
ЭКОНИВА
СЕМЕНА

СОБСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИОННАЯ ПРОГРАММА ПО ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕ

год внесения в Госреестр **2020**

Пшеница мягкая озимая

ЭН ЦЕФЕЙ®

Тип созревания: среднеспелый
Пластичность сорта: высокая
Масса 1000 зерен: 38-46 г
Норма высева всхожих зерен: 4-5 млн./га
Содержание белка: до 15%
Содержание клейковины: до 28%
Количество зерен в колосе: высокое
Продуктивная кустистость: высокая

год внесения в Госреестр **2021**

Пшеница мягкая озимая

ЭН АЛЬБИРЕО®

Тип созревания: среднеспелый
Пластичность сорта: высокая
Масса 1000 зерен: 35-44 г
Норма высева всхожих зерен: 4-5 млн./га
Содержание белка: до 15%
Содержание клейковины: до 29%
Количество зерен в колосе: высокое
Продуктивная кустистость: высокая

год внесения в Госреестр **2021**

Пшеница мягкая озимая

ЭН ТАЙГЕТА®

Тип созревания: среднеспелый
Пластичность сорта: высокая
Масса 1000 зерен: 38-49 г
Норма высева всхожих зерен: 4-5 млн./га
Содержание белка: до 15%
Содержание клейковины: до 28,5%
Количество зерен в колосе: высокое
Продуктивная кустистость: высокая

Агрономические характеристики

Засухоустойчивость	■■■■□
Устойчивость к полеганию	■■■■■
Устойчивость к осыпанию	■■■■■
Отзывчивость на агрофон	■■■■■
Устойчивость к болезням	■■■■□
Качество зерна	■■■■■

Агрономические характеристики

Засухоустойчивость	■■■■■
Устойчивость к полеганию	■■■■■
Устойчивость к осыпанию	■■■■■
Отзывчивость на агрофон	■■■■■
Устойчивость к болезням	■■■■□
Качество зерна	■■■■■

Агрономические характеристики

Засухоустойчивость	■■■■■
Устойчивость к полеганию	■■■■■
Устойчивость к осыпанию	■■■■■
Отзывчивость на агрофон	■■■■■
Устойчивость к болезням	■■■■□
Качество зерна	■■■■■

www.ekonivasemena.ru
semena@ekoniva-apk.ru

8-800-700-97-51

3.2022 АПРЕЛЬ

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

Ф. Г. Бакиров, Д. Г. Поляков, И. В. Васильев. Накопление и сохранение влаги почвенной и соломенной мульчей в Оренбургской области 3

F. G. Bakirov, D. G. Polyakov, I. V. Vasiliev. Accumulation and preservation of soil and straw mulch moisture in the Orenburg region

А. С. Билтуев, А. К. Уланов, Л. В. Будажапов. Влияние метеорологических условий на содержание продуктивной влаги в паровом поле на каштановых почвах Забайкалья 8

A. S. Biltuev, A. K. Ulanov, L. V. Budajapov. Influence of meteorological conditions on the content of productive moisture in the fallow field with chestnut soils of Transbaikalia

А. С. Акименко, В. И. Свиридов, Т. А. Дудкина, В. Г. Вавин. Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрального Черноземья 12

A. S. Akimenko, V. I. Sviridov, T. A. Dudkina, V. G. Vavin. Grain productivity of beet crop rotations depending on the degree of biologization in the Central Chernozem region

ПЛОДОРОДИЕ / FERTILITY

М.В. Рублюк, Д.А. Иванов, О.В. Карасева, Н.А. Хархардинов. Изменение свойств дерново-подзолистой почвы в зависимости от осушаемых агроландшафтов при возделывании клеверо-тимофеечной травосмеси 19

M.V. Rublyuk, D.A. Ivanov, O.V. Karaseva, N.A. Kharkhardinov. Changes in the properties of soddy-podzolic soil depending on the drained agricultural landscapes during the cultivation of clover-timothy grass mixture

Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина. Валовое содержание элементов питания в темно-серой лесной почве при различных системах основной обработки 23

N. V. Perfilyev, O. A. Vyushina. Total nutrient content in dark grey forest soils under different tillage systems

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.
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, Мосчтамт, 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 10.04.2022
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

П. А. Котяк, Е. В. Чебыкина, М. Ю. Иванова, А. Н. Воронин. Влияние нового органо-минерального удобрения на агрохимическое состояние дерново-подзолистой глеевой почвы 28

P. A. Kotjak, E. V. Chebykina, M. Ju. Ivanova, A. N. Voronin. Influence of a new organo-mineral fertilizer on the agrochemical state of sod-podzolic gleyic soil

ОБРАБОТКА ПОЧВЫ — **SOIL CULTIVATION**

Н. В. Абрамов, С. А. Семизоров, А. М. Оксукбаева. Основная обработка почвы и формирование азотного режима в системе точного земледелия 32

N. V. Abramov, S. A. Semizorov, A. M. Oksukbaeva. Main tillage and formation of nitrogen regime in precision farming system

С. А. Васильев. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия 36

S. A. Vasiliev. Intelligent technology for quality control of tillage in the precision farming system

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ — **PLANT PROTECTION**

А. А. Васильев, А. К. Горбунов, Д. А. Бобоев, Н. В. Глаз. Влияние гербицидов на сегетальный компонент и урожайность картофеля в лесостепной зоне Челябинской области 42

A. A. Vasiliev, A. K. Gorbunov, D.A. Boboev, N. V. Glaz. Influence of herbicides on the segetal component and potato yield in the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region

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:10.24412/0044-3913-2022-3-3-7
УДК 631.544.76

Накопление и сохранение влаги почвенной и соломенной мульчей в Оренбургской области*

Ф. Г. БАКИРОВ[1], доктор сельскохозяйственных наук, профессор (e-mail: f.bakirov@mail.ru)
Д. Г. ПОЛЯКОВ[2], кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (e-mail: polakovdg@yandex.ru)
И. В. ВАСИЛЬЕВ[1], кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой (e-mail: igor-vas2009@yandex.ru)
[1]Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Российская Федерация
[2]Институт степи Уральского отделения РАН, ул. Пионерская, 11, Оренбург, 460000, Российская Федерация

Исследования проводили с целью изучения влияния почвенной и соломенной мульчи различной мощности на накопление и удержание влаги почвой для обоснования параметров мульчи, способных обеспечить повышение эффективности использования ресурсов влаги. Работу выполняли в 2019 г. в Центральной зоне Оренбургской области. Почва опытного участка – чернозем южный среднемощный карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса 3,8 %. Полевой опыт заложен в четырёхкратной повторности с размером делянок 4 м² (2 м × 2 м). Между экспериментальными размещали защитные делянки такого же размера. Схема полевого опыта предусматривала изучение следующих вариантов: вид мульчи (фактор А) – мульча из соломы яровой пшеницы, мульча из рыхлой почвы; толщина мульчи (фактор В) – 1...2 см, 3...4 см, 7...8 см. Солому вносили по стерне в соответствии со схемой. Влагоёмкость соломенной мульчи исследовали в лабораторном опыте с использованием соломин длиной от 2 до 10 см и мякины в соотношении 2,7:1,0. Соломенная мульча при толщине 1...2 см может перехватить осадки объёмом менее 3,2 мм (19 % всех осадков за период вегетации ранних яровых культур), при 7...8 см – 22,4 мм (88 % всех осадков). Независимо от мощности слоя, соломенная мульча накапливает на 7 % влаги больше, чем почвенная, а её влагосберегающий эффект в первой половине лета составляет 39 % при толщине 3...4 см и 48 % – при 7...8 см. В Центральной зоне Оренбургской области толщина соломенной мульчи в 3...4 см обеспечивает оптимальный баланс между усвоением осадков и удержанием влаги в почве. Это повышает эффективность использования ресурсов влаги.

Ключевые слова: *соломенная мульча, почвенная мульча, запасы влаги, влагоемкость соломы, испарение, осадки.*

Для цитирования: *Бакиров Ф. Г., Поляков Д. Г., Васильев И. В. Накопление и сохранение влаги почвенной и соломенной мульчей в Оренбургской области // Земледелие. 2022. №3. С. 3–7. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-3-7.*

Повышение эффективности использования влаги – приоритетная цель растениеводства в регионах с ограниченными водными ресурсами, к которым относится и Оренбургская область. Достигается она решением ряда задач в технологиях выращивания культур, где ведущая роль принадлежит накоплению влаги поствегетационного периода года. Последнее достаточно успешно реализуется глубоким безотвальным рыхлением осенью, что подтверждено исследованиями ряда оренбургских ученых [1, 2, 3 и др.]. Не менее значимая задача – удержание влаги в традиционных технологиях решается созданием мульчи из рыхлой почвы. Почвенную (пыльную) мульчу как важный прием сохранения влаги вследствие уменьшения испарения рекомендовали еще в 1907 году после опытов Ф. Г. Кинга [4]. Однако он уменьшает потери влаги только при сухом состоянии самой мульчи и содержании воды в почве, превышающем её полевую влагоемкость [5]. В результате естественного уплотнения и после дождя мульча из почвы спрессовывается и теряет свои защитные свойства.

Более действенным приёмом сохранения влаги в засушливых регионах предполагается мульчирование почвы органическими остатками в технологии No-till [6]. Логичным видится использование в качестве мульчи соломы зерновых культур, которые занимают доминирующее положение в структуре посевных площадей Оренбургской области. В исследованиях отечественных и зарубежных ученых показано, что мульча из соломы способна снижать температуру почвы и амплитуду ее суточных колебаний [7]. Важным свойством соломенной мульчи выступает ее способность сохранять влагу [8, 9]. При недостаточном увлажнении технология No-till обеспечивает рост урожайности [10], стабилизацию продуктивности по годам и повышение рентабельности растениеводства [11]. Применение соломенной мульчи должно позитивно сказаться не только на урожайности, но и на экологической обстановке в целом, в связи с изменением климата, сопровождающимся снижением количества атмосферных осадков и нарастанием активных температур [12]. Таким образом, в условиях современных экологических вызовов и климатических изменений несомненным преимуществом соломенной мульчи может быть её природоохранная роль как безопасного разлагаемого материала, способного к сбережению водных ресурсов, депонированию и секвестрации углерода [13, 14], что очень важно в связи с переходом к низкоуглеродной экономике.

В то же время соломенная мульча, как органическое вещество, обладает высокой водопоглотительной способностью (влагоёмкостью), что при её большой мощности и невысоких нормах осадков может привести к задержке дождевых капель, вследствие чего вода не достигнет почвы. Наши опасения подтверждают результаты некоторых исследователей. Например, в опыте китайских учёных усиление мощности мульчи отрицательно отразилось на содержании влаги в почве [15]. С другой стороны, при небольшой мощности мульча может не защитить почву от потерь влаги [16]. Возникает дисбаланс между мощностью мульчи и нормой осадков, который может привести к проблеме, связанный с тем, что значительно снизится результативность использования влаги в растениеводстве.

Работа выполнена в рамках Госзадания по темам № АААА-А17-117112340090 (Оренбургский ГАУ) и № ГР АААА-А21-121011190016-1 (Институт степи УрО РАН)

1. Содержание влаги в соломенной мульче при её искусственном увлажнении, мм

Порядковый номер увлажнения	Мощность мульчи, см				
	<1	1...2	2...3	3...4	7...8
1	0,9	2,3	4,6	6,8	15,9
2	1,0	2,6	5,1	7,7	17,9
3	1,1	2,7	5,3	8,0	18,7
4	1,1	2,8	5,6	8,5	19,8
5	1,2	2,9	5,8	8,7	20,3
6	1,2	3,0	6,0	9,0	21,0
7	1,2	3,1	6,2	9,3	21,7
8	1,3	3,2	6,3	9,5	22,1
9	1,3	3,2	6,4	9,6	22,4
10	1,3	3,2	6,4	9,6	22,4
$НСР_{05}$	0,1	0,1	0,1	0,4	1,1

Наша гипотеза заключается в том, что мощность соломенной мульчи, подобранная в соответствии с нормой выпадающих осадков, позволит достигнуть баланса между водопоглотительным свойством мульчи и её способностью пропускать через себя воду и снижать испарение с поверхности почвы, что повысит эффективность использования ресурсов влаги в растениеводстве.

Цель исследования – изучение влияния почвенной и соломенной мульчи различной мощности на накопление и удержание влаги почвой для обоснования параметров мульчи, способных обеспечить повышение эффективности использования ресурсов влаги в центральной зоне Оренбургской области.

Материалом для исследований послужили данные полевого опыта, проведённого на учебно-опытном поле Оренбургского ГАУ в 2019 г. на черноземе южном среднемощном карбонатном тяжелосуглинистом, с содержанием гумуса 3,8 %. Двухфакторный опыт проводили в четырёхкратной повторности, с рандомизированным размещением делянок в повторениях. Размер делянок был равен 4 м^2 (2 м × 2 м). Для устранения влияния на результаты эксперимента боковой инфильтрации влаги в почве между опытными вариантами размещали защитные делянки такого же размера. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов:

вид мульчи (фактор А) – мульча из соломы яровой пшеницы, мульча из рыхлой почвы;

толщина мульчи (фактор В) – 1...2 см, 3...4 см, 7...8 см.

Водопоглотительную способность (влагоёмкость) соломенной мульчи исследовали в лабораторном опыте с использованием соломин длиной от 2 до 10 см и мякины в соотношении 2,7:1,0, что характерно для полевых условий. Мульчу помещали в пластиковые ящики размером 25 см × 35 см с сетчатым дном. Её масса составляла 17,5, 43,8, 87,5, 131,3 и 306,3 г, что соответствует мощности <1, 1...2, 2...3, 3...4 и 7...8 см. Увлажнение проводили пульверизатором в течение 1 минуты, затем после стекания гравитационной влаги, солому взвешивали вместе с ящиком. Количество поглощённой воды определяли как разницу массы ящика с влажной мульчей и массы ящика с сухой мульчей. Для каждого варианта было сделано по 10 увлажнений и взвешиваний в пятикратной повторности. Расчеты проводили с учетом плотности воды при 22 °С.

Для оценки характера осадков за период вегетации ранних яровых культур (май-июль) использован научно-прикладной справочник «Климат России» [17] и данные метеостанции Оренбург, характеризующие климатические условия Центральной зоны Оренбургской области. Подсчитано среднее количество дней с осадками различной интенсивности и определен объём этих осадков за сутки. Группировку осадков по интенсивности осуществляли, основываясь на данных по влагоёмкости соломенной мульчи, полученных в лабораторном опыте, что позволило установить возможную долю перехватываемых осадков при различной мощности соломенной мульчи. В полевых исследованиях использовали данные по осадкам метеостанции учебно-опытного поля Оренбургского ГАУ.

Предположение о том, что соломенная мульча обладает высокой водопоглотительной способностью, подтвердилось в лабораторном исследовании. Эксперимент показал, что в первое увлажнение происходит значительный захват влаги (табл. 1). Далее количество удерживаемой соломой воды медленно возрастает до 4...5-го увлажнения. При 6...8-м увлажнении происходит второй заметный всплеск в увеличении количества захватываемой воды во всех вариантах эксперимента, а при 9 и 10-м увлажнении – его стабилизация. Причём уровень всплеска закономерно повышается с увеличением мощности мульчи. Количество захватываемой соломой воды при наступлении стабилизации было принято за величину влагоёмкости мульчи различной мощности.

В соответствии с установленной влагоёмкостью мульчи различной мощности составлена шкала диапазонов осадков за сутки: <1,3, 1,3...3,2, 3,3...6,4 мм и др. (табл. 2). По среднемноголетним данным за 1950–2017 гг., с привязкой к составленной шкале, определены количество дней с осадками и их объём за сутки по месяцам вегетационного периода ранних яровых культур. Это дало возможность сопоставить показатели влагоёмкости соломенной мульчи различной толщины с фактическими значениями объёмов осадков за сутки и оценить параметры мульчи с позиции потенциальной эффективности использования летних осадков в богарном земледелии. Например, при толщине мульчи 1...2 см возможно перехватывание 3,2 мм влаги (см. табл. 1), что соответствует двум, предложенным, диапазонам – <1,3 и 1,3...3,2 мм (табл. 2). И только при превышении этой нормы часть влаги будет просачиваться в почву. Это составляет 19 % от всех осадков за вегетационный период ранних зерновых культур.

При мощности соломенной мульчи 2...3 см величина этого показателя увеличивается до 40 %, а при толщине ее слоя 3...4 и 7...8 см – до 57 и 88 % соответственно. Следовательно, чем больше мощность мульчи, тем меньше влаги может просочиться в почву.

На период произрастания яровых зерновых культур (май-июль) приходится 101,6 мм осадков, или около 28 % от годовой нормы и 28,4 дня с осадками. Чаще всего они выпадают с суточной нормой менее 1,3 мм, это

2. Характер осадков, выпадающих в период вегетации ранних яровых культур в Центральной зоне Оренбургской области (среднее за 1950–2017 гг.)*

Диапазон осадков, мм	Количество дней с осадками			Объём осадков за сутки, мм		
	май	июнь	июль	май	июнь	июль
<1,3	4,0	4,5	3,9	0,5	0,5	0,5
1,3...3,2	2,3	2,1	2	2,1	2,0	2,2
3,3...6,4	1,6	1,6	1,5	4,4	4,5	4,5
6,5...9,6	0,7	0,9	0,6	7,8	7,8	7,5
9,7...22,4	0,5	0,8	1	13,8	14,3	13,8
>22,4	0,1	0,1	0,2	25,2	29,1	32,1
Всего дней с осадками	9,2	10,0	9,2	–	–	–
Среднемноголетняя сумма осадков за месяц, мм	–	–	–	28,7	35,0	37,9

**норма осадков за сельскохозяйственный год – 365 мм (многолетнее среднее за базовый период 1961–1990 гг.).*

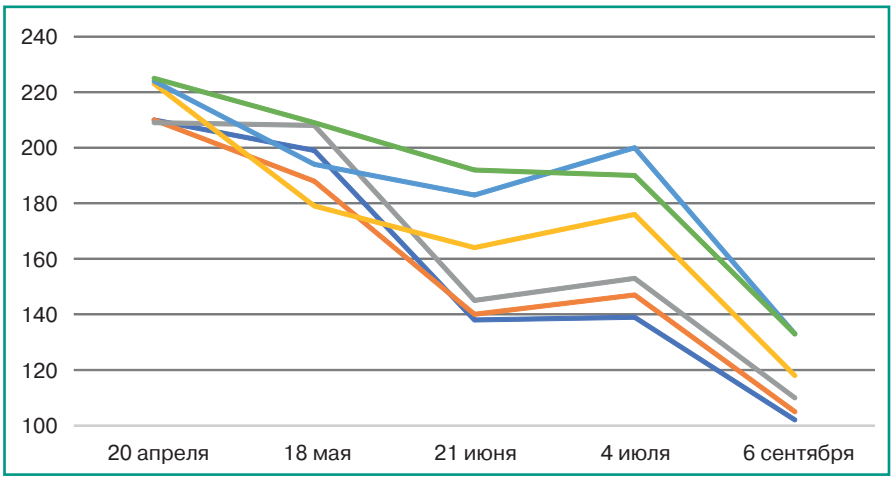

Рис. 1. *Динамика запасов влаги (мм) в метровом слое почвы в зависимости от вида и толщины мульчи: — почва, 1...2 см; — почва, 3...4 см; — почва 7...8 см; — солома, 1...2 см; — солома, – 3...4 см; — солома, 7...8 см.*

12,4 дня из всех дней с осадками за три месяца. Они могут стать недоступными даже при минимальной мощности соломенной мульчи. По мере увеличения интенсивности осадков уменьшается количество дней с их выпадением. Так, осадки объёмом 7,5...7,8 мм в сутки, попадающие в диапазон 6,5...9,6 мм, за весь вегетационный период яровой пшеницы выпадают всего 2,2 дня, а осадки объёмом 25,2...32,1 мм (диапазон более 22,4 мм) за три месяца могут составить всего 0,4 дня. То есть такие осадки в период вегетации выпадают не каждый год. Осадки с суточным объёмом 25,2...32,1 мм очень близки к климатической их норме за май, июнь и июль, соответственно 28,7, 35,0 и 37,9 мм, то есть их вероятность очень низка.

Из данных по влагоёмкости соломенной мульчи, анализа среднемноголетних значений количества дней с осадками и их объёма за сутки со всей очевидностью вытекает, что летние дожди могут стать неэффективными при несоответствии единовременно выпадающего количества осадков с мощностью соломенной мульчи. Только при их адекватности мульча может стать действенным агротехническим приёмом накопления и удержания влаги в почве. Соломенная мульча мощностью 7...8 см представляется для Центральной зоны Оренбургской области избыточной, так как она пропускает только 12 % от среднемноголетней нормы осадков за вегетационный период, и только при объемах, превышающих 22,4 мм, что бывает не каждый год.

Несомненно можно допустить, что в полевых условиях соломенная мульча будет «работать» иначе, чем в лабораторных. Например, наличие контакта соломы с сухой почвой может обеспечить втягивание в неё влаги, возможны другие явления взаимодействия соломы с почвой. Для выяснения их требуются дополнительные исследования.

Результаты полевого опыта свидетельствуют, что в метровом слое почвы после схода снега (20 апреля) под соломенной мульчей, независимо от её мощности, накапливается на 13...16 мм влаги больше, чем под почвенной мульчей (рис. 1). Такое преимущество обеспечивает лучшее усвоение летне-осенних осадков почвами, замульчированными соломой, что было показано ранее [18] и подтверждается тем, что с августа по ноябрь предшествующего исследованиям года выпало 88,8 мм, а с декабря по март – 50,2 мм. Отсюда следует, что основное пополнение запасов влаги в почве произошло благодаря осадкам тёплого периода года. Более низкая способность почвенной мульчи впитывать влагу связана с забиванием пор, которое происходит в результате разрушения структурных отдельностей дождевыми каплями. В результате вода задерживается в поверхностных слоях почвы, затем испаряется.

Солома гасит кинетическую энергию капель дождя и защищает комочки почвы от разрушения, устраняя тем самым забивание пор и образование корки. Все это способствует просачиванию воды. Кроме того, преимущество соломенной мульчи перед почвенной обусловлено лучшим поглощением воды во время снеготаяния из-за меньшего промерзания почвы в этих вариантах. Толщина мульчи в этом случае может сыграть положительную роль, поскольку под более мощной мульчей почва промерзает на меньшую глубину и быстрее оттаивает [19]. Влагоёмкость же соломы в этой ситуации не имеет большого значения, так как количество приходящей в результате снеготаяния воды значительно её превышает. Таким образом, соломенная мульча имеет преимущество в аккумулировании осенне-летних и зимних осадков перед почвенной, что несомненно очень важно для регионов, где основная часть осадков выпадает в поствегетационный период.

Не менее важной функцией мульчи, чем накопительная, выступает её способность сохранять влагу в почве. В на-

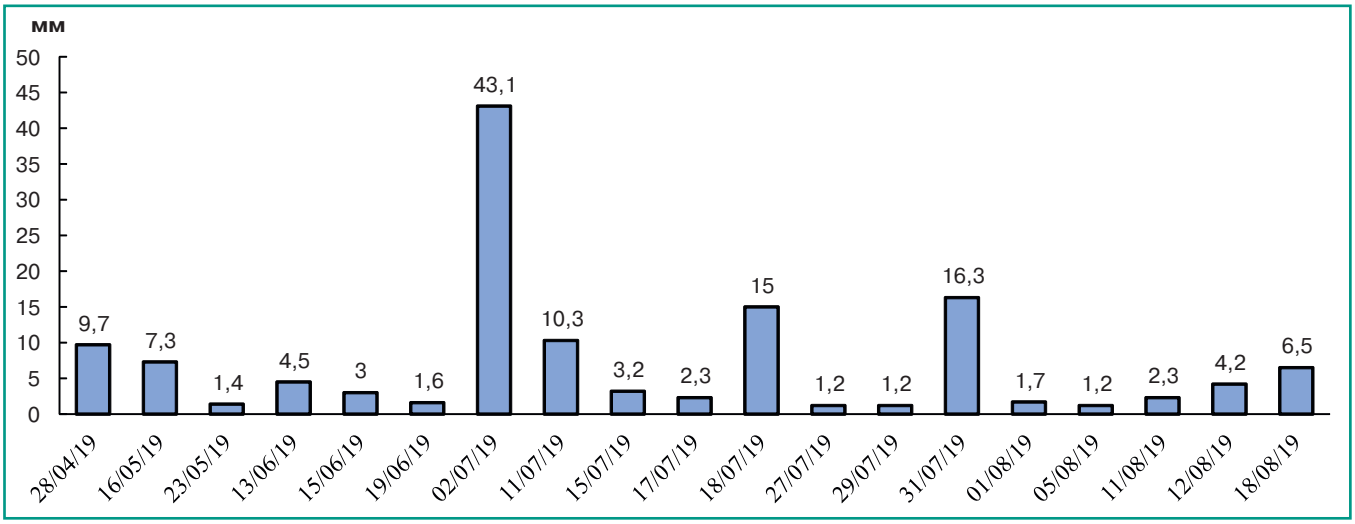

Рис. 2. *Количество осадков, выпавших на опытном поле Оренбургского ГАУ за время проведения полевого эксперимента, мм.*

ших исследованиях она во многом была обусловлена как внешними факторами, так и мощностью самой мульчи. Например, в условиях 2019 г., когда с 20 апреля по 18 мая выпало 17 мм осадков (рис. 2), а дневная среднесуточная температура воздуха не превышала 9 °С, к концу обозначенного периода в вариантах с соломенной и почвенной мульчей мощностью 7...8 см сохранялось одинаковое количество влаги – 209 и 208 мм соответственно. При толщине 1...2 см и 3...4 см влага лучше сохранялась под почвенной мульчей. Следовательно, в относительно холодный период она имеет преимущество.

К началу лета и летом с нарастанием среднесуточной температуры воздуха до 27,2 °С защищённая соломенной мульчей почва приобретает значительное преимущество в сбережении влаги, по отношению к почве, покрытой почвенной мульчей. Так, 21 июня разница в запасах влаги в пользу соломенной мульчи в среднем по трем вариантам достигла 39 мм, при 54 мм между вариантами с мульчей из соломы и почвы толщиной 3...4 см. В последнем случае влагосберегающий эффект, с учётом исходных запасов на 20 апреля, в пользу соломенной мульчи составил 39 %. Если сравнивать между собой почвенную мульчу с соломенной при их толщине 7...8 см, то этот эффект достигает уже 48 %. Несколько большее снижение запасов влаги в вариантах с соломенной мульчей за этот период отмечено при её толщине 7...8 см. Вероятно, это объясняется, во-первых, большими исходными запасами, поскольку, чем влажнее почва, тем выше скорость испарения, а, во-вторых, возможно тем, что такая толщина мульчи не позволила усвоить 10,5 мм осадков, которые выпали с 18 мая по 21 июня и были в пределах 1,4 и 4,5 мм за сутки.

Определение запасов влаги в почве на третий день после дождя в 43 мм подтвердило наше предположение. С увеличением толщины соломенной мульчи количество впитавшейся воды уменьшалось (рис. 3). Лучше всего влага аккумулируется при толщине мульчи 1...2 см, хуже всего – при 7...8 см.

Априори допуская, что мульча толщиной 7...8 см лучше сохраняет влагу, мы можем предположить, что ко времени выпадения дождя в этом варианте были более высокие ее запасы, чем при толщине мульчи 1...2 см. Однако запасов влаги в 0...20 см слое на 10 мм меньше. Объяснено это может быть удержанием значительной части осадков соломенной мульчей и, как следствие, уменьшением количества поступившей в почву воды. Причем в последнем случае влаги впитывается даже меньше, чем в вариантах с почвенной мульчей. В этих вариантах усваивается практически одинаковое количество влаги, но с увеличением толщины мульчи больше воды задерживается в верхнем 10-сантиметровом слое почвы.

Согласно данным лабораторного эксперимента, мульча толщиной в 7...8 см может удержать 22,4 мм осадков, поэтому все осадки меньше этой величины не будут попадать в почву. Для подтверждения этого предположения проведем дополнительный анализ динамики запасов влаги в метровом слое почвы в зависимости от вида и толщины мульчи (см. рис. 1), согласно результатам которого21 июня в варианте 3...4 см запасы влаги в почве составляли 183 мм, а в варианте 7...8 см – 192 мм. Через 2 дня после дождя в варианте 7...8 см они находились на уровне 190 мм, то есть практически не изменились относительно запасов на 21 июня (192 мм), тогда как в варианте с мульчей 3...4 см они увеличились на 17 мм. Если исходить из того, что 3...4 см мульчи хуже удерживает влагу, чем 7...8 см, то можно предположить, что преимущество в 10 мм влаги в этом варианте объясняется её лучшей пропускной способностью. В противном случае при большей испаряемости в варианте 3...4 см и одинаковой пропускной способности обоих вариантов, запасы на 4 июля, несомненно, были бы больше в варианте 7...8 см.

На основании этих данных мы не можем судить о конкретных значениях испарившейся и поглощённой воды, но с высокой вероятностью можем утверждать, что с увеличением толщины мульчи уменьшается количество просочившейся воды.

С 4 июля по 6 сентября выпало тринадцать осадков с общей суммой 66,1 мм. При этом большая часть их была в интервале 0,6...4,0 мм, три раза – 10,3; 15,0 и 16,3 мм, что подтверждает вывод, сделанный при анализе характера осадков в период вегетации ранних яровых культур (см. табл. 1) о том, что малообъёмные осадки в диапазоне <1,3...6,4 мм приходятся на половину дней с осадками. Исходя из сведений по осадкам и данных за период с 4 июля по 6 сентября, можно сделать вывод, что соломенная мульча значительно лучше удерживает влагу в почве, чем почвенная.

В целом за три месяца наблюдений выпало 110,5 мм осадков, что соответствует среднемноголетнему уровню. Запасы влаги в среднем по вариантам с соломенной мульчей уменьшились с 224 мм до 128 мм, а с почвенной мульчей с 210 мм до 106 мм. В первом случае суммарные потери составили 192 мм, во втором – 214,5 мм. На 6 сентября одинаковый и наибольший уровень увлажнения отмечен в вариантах с соломенной мульчей толщиной 3...4 см и 7...8 см. Это объясняется тем, что 3...4 см слой соломенной мульчи лучше, чем 7...8 см, усваивает осадки летнего периода, но в меньшей степени защищает почву от потерь влаги на испарение. Очевидно, что варианты с соломенной мульчей в 3...4 и 7...8 см по запасам влаги в начале и к концу наблюдений одинаковые. Но линия варианта с 7...8 см мульчи более выровнена, что свидетельствует о его лучшей водоудерживающей способности, а контрастные изломы на линии варианта с 3...4 см мульчи, как ответ на осадки – о лучшей пропускной способности этого варианта. Слой мульчи в 1...2 см лучше, чем 3...4 см и 7...8 см пропускает воду, но это не компенсирует большие ее потери на испарение. Отсюда оптимальной толщиной мульчи из соломы зерновых следует считать 3...

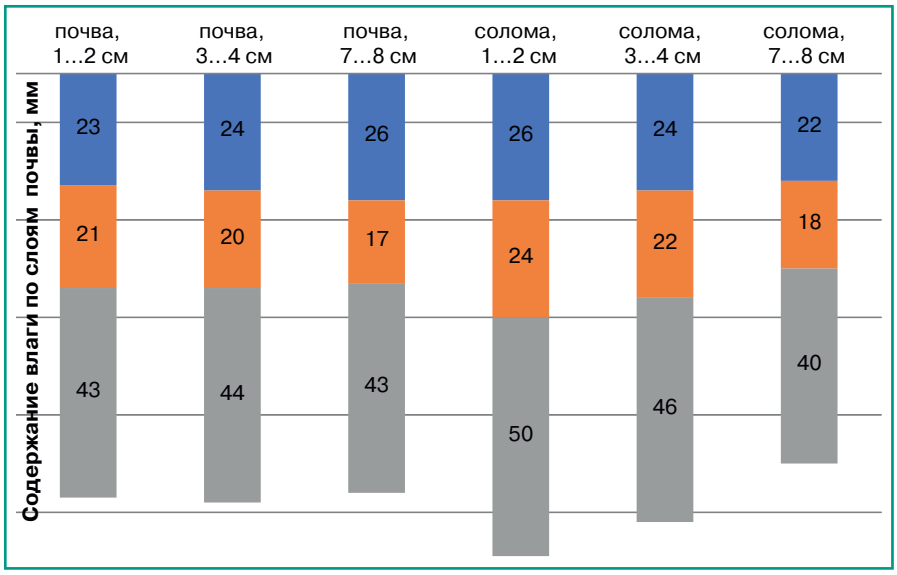

Рис. 3. Запасы влаги (мм) в пахотном слое почвы 4 июля после выпадения 2 июля 43 мм осадков в зависимости от вида и мощности мульчи: ■ – слой 0...10 см; ■ – слой 10...20 см; ■ – слой 0...20 см.

4 см. Она обеспечивает оптимальный баланс между усвоением осадков и удержанием её в почве и наибольшую эффективность использования ресурсов влаги в Центральной зоне Оренбургской области.

Правильно подобранная мощность соломенной мульчи в соответствии с нормами выпадающих осадков выступает действенным агротехническим приёмом накопления и удержания влаги в почве.

Соломенная мульча обладает высокой водопоглотительной способностью (влагоёмкостью), поэтому с повышением ее мощности увеличивается количество удерживаемой воды. При мощности 1...2 см она может удержать в себе все осадки нормой менее 3,2 мм, которые составляют 19 % всех осадков, выпадающих за вегетационный период ранних яровых культур в Центральной зоне Оренбургской области, а при мощности 7...8 см – все осадки объёмом менее 22,4 мм, или 88 % осадков за указанный период.

Соломенная мульча, независимо от её мощности, накапливает влаги на 7 % больше, чем почвенная, а её влагосберегающий эффект в первой половине лета достигает 39 % при толщине 3...4 см и 48 % – при 7...8 см. Лучше всего влага аккумулируется при толщине мульчи 1...2 см, хуже всего – при толщине 7...8 см.

В Центральной зоне Оренбургской области толщина соломенной мульчи в 3...4 см обеспечивает оптимальный баланс между усвоением осадков и удержанием влаги в почве с наибольшей эффективностью использования ресурсов влаги региона.

Литература

1. Кислов А. В., Глинушкин А. П., Кащеев А. В. Агроэкологические основы повышения устойчивости земледелия в степной зоне // Достижения науки и техники АПК. 2018 Т. 32. № 7. С. 9–13. doi: 10.24411/0235-2451-2018-1070.

2. Ресурсосберегающие технологии на черноземах южных Оренбургской области / Ф. Г. Бакиров, Г. В. Петрова, А. П. Долматов и др. // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 5. С. 3–5.

3. Влияние способов основной обработки на условия развития и эффективность возделывания проса / И. В. Васильев, Ю. А. Гулянов, Ю. Н. Бакаева и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 57–61. doi: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-57-61.

4. King. F. H. Textbook of the Physics of Agriculture. Madison, Wisconsin, 1907. 604 p.

5. Etcheverry B., Harding S. Irrigation Practice and Engineering. New York: McGraw-Hill, 1933. P. 106.

6. Kahlon M. S., Lal R., Ann-Varughese M. Twenty-two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio // Soil & Tillage Research. 2013. Vol. 126. P. 151–158.

7. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean / K. Akhtar, W. Wang, A. Khan, et al. // Agricultural Water Management. 2019. Vol. 211. P. 16–25. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.031.

8. Дридигер В. К., Стукалов Р. С., Матвеев А. Г. Влияние типа почвы и ее плотности на урожайность озимой пшеницы, возделываемой по технологии no-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Земледелие. 2017. № 2. С. 19–22.

9. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства черноземов выщелоченных и урожайность подсолнечника / Е. Б. Дрёпа, О. И. Власова, А. С. Голубь и др. // Земледелие. 2020. № 3. С. 18–20. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10304.

10. Эффективность применения технологии No-till в различных климатических зонах Ставропольского края / А. Н. Есаулко, Е. Б. Дрепа, А. Ю. Ожередова и др. // Земледелие. 2019. № 7. С. 28–31. https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10707

11. Эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края / В. К. Дридигер, В. В. Кулинцев, С. А. Измалков и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 1. С. 34–39. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10100.

12. Проблемы адаптации степного землепользования к антропогенным и климатическим изменениям (на примере Оренбургской области) / Ю. А. Гулянов, А. А. Чибилев, А. А. Чибилев и др. // Известия РАН. Серия географическая. 2022. № 1. С. 28–40. doi: 10.31857/s258755662201006x.

13. Blanco-Canqui H. No-till technology has limited potential to store carbon: How can we enhance such potential? // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021. Vol. 313. 107352. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880921000566 (дата обращения 17.03.2022). https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107352.

14. Effect of Straw Mulch on Soil Evaporation during Freeze–Thaw Periods / J. Chen, X. Xie, X. Zheng et al. // Water. 2019. 11 (8). 1689. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/11/8/1689 (дата обращения 17.03.2022). https://doi.org/10.3390/w11081689.

15. Cook H. F., Valdes G. S. B., Lee H. C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under Zea mays L. // Soil & Tillage Research. 2006. Vol. 91. P. 227–235. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.12.007.

16. Jordan A., Zavala L. M., Gil J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain // CATENA. 2010. Vol. 81. No. 1. P. 77–85. https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007.

17. Научно-прикладной справочник «Климат России» ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидромета. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml (дата обращения: 16.11.2018, 15.03.2021).

18. Бакиров Ф. Г., Коряковский А. В. Мульчирование – эффективный способ использования водных ресурсов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 3 (31). С. 55–56.

19. Effects of maize straw mulch on spatiotemporal variation of soil profile moisture and temperature during freeze-thaw period / J. Chen, X. Zheng, Z. Qin, et al. // Soc. Agric. Eng. 2013. No. 29. P. 102–110.

Accumulation and preservation of soil and straw mulch moisture in the Orenburg region

F. G. Bakirov[1], D. G. Polyakov[2], I. V. Vasiliev[1]

[1]Orenburg State Agrarian University, ul. Chelyuskintsev, 18, Orenburg, 460014, Russian Federation

[2]Institute of Steppe, Ural branch, Russian Academy of Sciences, ul. Pionerskaya 11, Orenburg, 460000, Russian Federation

Abstract. *We determined the effect of soil and straw mulch of various thicknesses on the accumulation and retention of moisture by the soil in order to substantiate the mulch parameters that can provide an increase in the efficiency of the use of moisture resources. The work was carried out in 2019 in the Central zone of the Orenburg region. The soil of the experimental plot was southern medium-thick calcareous heavy loamy chernozem with a humus content of 3.8%. The field experiment was carried out in four repetitions with a plot size of 4 m2 (2 m x 2 m). Protective plots of the same size were placed between the experimental ones. The design of the field experiment included the following treatments: mulch type (factor A) – mulch from spring wheat straw, mulch from loose soil; mulch thickness (factor B) – 1–2 cm, 3–4 cm, 7–8 cm. Straw was applied in the stubble in accordance with the design. The moisture capacity of straw mulch was studied in a laboratory experiment using straws from 2 to 10 cm long and chaff in a ratio of 2.7:1.0. Straw mulch with a thickness of 1–2 cm can intercept precipitation less than 3.2 mm (19% of all precipitation during the growing season of early spring crops), with a thickness of 7–8 cm – 22.4 mm (88% of all precipitation). Regardless of the thickness of the layer, straw mulch accumulates 7% more moisture than soil mulch, and its moisture-saving effect in the first half of summer is 39% at a thickness of 3–4 cm and 48% at 7–8 cm. In the Central zone of the Orenburg region, a straw mulch thickness of 3–4 cm provides an optimal balance between precipitation absorption and moisture retention in the soil. This improves the efficiency of the use of moisture resources.*

Keywords: *straw mulch; soil mulch; moisture reserves; straw moisture capacity; evaporation; precipitation.*

Author Details: *F. G. Bakirov, D. Sc. (Agr.), prof. (e-mail: f.bakirov@mail.ru); D. G. Polyakov, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow (e-mail: polakovdg@yandex.ru); I. V. Vasiliev, Cand. Sc. (Agr.), head of department (e-mail: igor-vas2009@yandex.ru).*

For citation: *Bakirov FG, Polyakov DG, Vasiliev IV [Accumulation and preservation of soil and straw mulch moisture in the Orenburg region]. Zemledelie. 2022;(3):3-7. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-3-7.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-8-12
УДК 631.432.2:631.581.1:551.58

Влияние метеорологических условий на содержание продуктивной влаги в паровом поле на каштановых почвах Забайкалья

А. С. БИЛТУЕВ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (e-mail: burniish@inbox.ru)
А. К. УЛАНОВ, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Л. В. БУДАЖАПОВ, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор
Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, ул. Третьякова, 25з, Улан-Удэ, 670045, Российская Федерация

Анализ данных погодных условий и содержания продуктивной влаги в почве в длительном и многолетнем ряду позволяет выявить региональные особенности влагонакопления в агроземах сухой степи Западного Забайкалья. Исследования проводили с целью определения среднемноголетней динамики накопления продуктивной влаги в различных слоях каштановой почвы парового поля в зависимости от метеорологических условий и представления выявленных закономерностей в виде эмпирических моделей. Работу выполняли в 1982–2020 гг. в южной сухостепной зоне Республики Бурятия в двухпольном севообороте пар – пшеница. В паровом поле использовали комбинированную систему обработки почвы (с весны – мелкая плоскорезная на 12...14 см, летом – глубокая отвальная вспашка на 28…30 см с последующими культивациями по мере отрастания сорной растительности). Почва опытного участка – каштановая мучнистокарбонатная среднемощная супесчаная сезонно-мерзлотная с содержанием гумуса 1,3 %, высокой водопроницаемостью (236...298 мм/ч) и низкой водоудерживающей способностью. Высокая изменчивость прихода среднемесячных осадков (V = 50…129 %) обусловила большое варьирование запасов влаги в поверхностном (0…20 см) слое – 37…73 %, меньшую в слое 20…50 см – 25…60 % и самую низкую в слое 50…100 см – 21...40 %. Стартовые запасы продуктивной влаги во второй декаде мая в паровом поле в слое 0…20 и 20…50 см зависели от количества осадков, выпавших в августе предыдущего года (r = 0,39…0,49) и в мае в период определения влажности (r = 0,37…0,39). Эмпирическое моделирование на основе результатов многолетних (31 год) исследований позволило построить адекватные множественные линейные модели определения стартовых запасов продуктивной влаги в различных слоях парового поля по выявленным предикторам – параметрам прихода атмосферных тепла и влаги.

Ключевые слова: *метеорологические условия, каштановая почва, продуктивная влага, чистый пар, эмпирические модели.*

Для цитирования: *Билтуев А. С., Уланов А. К., Будажапов Л. В. Влияние метеорологических условий на содержание продуктивной влаги в паровом поле на каштановых почвах Забайкалья // Земледелие. 2022. № 3. С. 8–12. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-8-12.*

Изучение динамики содержания продуктивной влаги наиболее дефицитного ресурса плодородия в аридной зоне в профиле почвы во времени, основанное на обширном полевом материале, дает возможность описать направленность и масштабы ее перемещения в почве. Статистико-математическое исследование системы атмосфера-почва в паровом поле без участия растений позволяет определить в целом механизм обмена вещества и энергии между этими средами [1, 2]. При этом определение потенциала аккумуляции влаги в пару заблаговременно, до начала посевных работ, имеет высокую практическую значимость. Наличие среднесрочного прогноза метеоусловий предполагает возможность моделировать рост и развитие культур по паровому предшественнику от посева и до середины вегетационного периода [3, 4, 5]. Именно в этот временной промежуток в условиях сухой степи Бурятии отмечаются наиболее экстремальные погодные явления, снижающие продуктивность полевых культур [6, 7]. В этой связи, анализ данных погодных условий и содержания продуктивной влаги в почве в длительной ретроспективе позволяет выявить зональные особенности влагонакопления в агроземах сухой степи Западного Забайкалья. Ранее исследования водного режима каштановой почвы региона носили, как правило, краткосрочный характер [8] и не ставили перед собой задачи выявить корреляционные связи между тепловлагообеспеченностью и влажностью почвы в сезонной и многолетней динамике, а тем более на их основе построить среднесрочные прогностические уравнения накопления продуктивной влаги в чистом пару.

Цель исследований – определить среднемноголетнюю динамику накопления продуктивной почвенной влаги чистого пара в зависимости от метеорологических условий и представить выявленные зависимости в виде эмпирических моделей для каштановых почв сухой степи Забайкалья.

Режим изменения почвенной влаги изучали в 1982–2020 гг. в паровом поле двухпольного севооборота пар – пшеница на постоянном участке размножения перспективных сортов пшеницы селекции БурНИИСХ. Он расположен в южной сухостепной зоне Республики Бурятия на типичных каштановых почвах на пологом склоне Ганзуринского хребта северо-западной экспозиции. Обработку почвы проводили по типу черного пара, согласно принятой системы земледелия [9]: с весны –мелкая плоскорезная обработка на 12...14 см, летом – глубокая отвальная вспашка на 28...30 см с последующими культивациями по мере отрастания сорной растительности.

Климат сухой степи Западного Забайкалья резко континентальный с ярко выраженным сезонным характером распределения осадков. Большую часть года над степями перемещаются обезвоженные воздушные массы и лишь во второй половине лета проникают тихоокеанские муссоны. Кроме глобальных сезонных проявлений климата, на влагообеспеченность территории в значительной степени влияет и местный фактор – горно-котловинный характер рельефа. В результате действия этого эффекта в центре обширных депрессий формируется зона повышенного давления, препятствующая заносу влажных воздушных масс.

Годовая сумма осадков в среднем за время наблюдений составляла 247 мм (табл. 1). При этом их количества различались не только по месяцам (V = 49...129 %), но и по годовым циклам (V = 25 %).

Среднемесячные температуры воздуха более стабильны (V = 6...90 %), за исключением октября. Однако выявленные инверсии температурного фона приводят к изменениям интенсивности, продолжительности и сроков проявления засух в первой половине лета [6, 10].

Почва опытного участка – каштановая мучнистокарбонатная среднемощная супесчаная сезонномерзлотная. Содержание гумуса в пахотном слое почвы очень низкое – 1,31 ± 0,05 %. Гумус сосредоточен в основном в верхнем 0...30 см слое почвы и с глубиной его содержание резко уменьшается. По гигроскопической влаге (МГ) существует тенденция к увеличению в иллювиальных горизонтах (табл. 2). Такой же характер изменения отмечен для влажности завядания (ВЗ). Запасы продуктивной влаги при НВ в метровом слое составляют 100 мм.

1. Метеорологические условия периода проведения исследований (1982–2020 гг.)

Месяц	Температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
	M ± m	M ± tm	V, %	M ± m	M ± tm	V, %
Январь	-23,2 ± 0,6	-24,1...-21,8	13,7	3,5 ± 0,4	2,8...4,6	65,7
Февраль	-17,7 ± 0,5	-18,8...-16,8	15,0	1,9 ± 0,3	1,3...2,4	78,1
Март	-8,1 ± 0,5	-8,9...-7,0	33,5	2,5 ± 0,6	1,3...3,4	121,7
Апрель	2,2 ± 0,3	1,4...2,8	90,2	5,7 ± 1,3	3,1...8,4	125,6
Май	10,3 ± 0,3	9,7...10,7	15,4	13,6 ± 1,8	9,6...16,2	73,5
Июнь	16,8 ± 0,3	15,9...17,4	11,3	42,8 ± 5,2	33,1...54,2	62,1
Июль	19,3 ± 0,2	18,8...19,7	6,3	71,4 ± 6,7	57,9...85,4	52,3
Август	16,7 ± 0,2	16,2...17,1	7,5	60,6 ± 5,4	49,7...71,5	49,5
Сентябрь	9,2 ± 0,3	8,7...10,0	18,5	24,5 ± 2,9	18,5...30,3	64,8
Октябрь	0,9 ± 0,4	0,0...1,5	278,6	5,0 ± 0,7	3,7...6,3	72,8
Ноябрь	-9,5± 0,5	-11,0...-8,9	29,6	7,9 ± 0,8	6,2...9,6	61,5
Декабрь	-18,6 ± 0,6	-20,0...-17,6	17,5	7,4 ± 0,6	5,1...8,5	49,1
Среднее (сумма) за год	-0,2 ± 0,16	-0,6...+0,1	425,0	247,2 ± 11,1	224,2... 270,0	25,3

Водопроницаемость супесчаной каштановой почвы высокая и достигает 236…298 мм/ч [11]. Из-за преобладания крупных некапиллярных пор (до 70 % от всех пор) почвы неспособны удерживать большое количество подвешенной влаги. Глубина залегания грунтовых вод превышает 15 м.

Гидрологические константы, водопроницаемость и влажность почвы определяли общепринятыми методами (*Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.*). Почвенные образцы отбирали в метровом профиле парового поля послойно, по 10 см, с мая по август через каждые 10 дней. Содержание продуктивной влажности почвы (Wпр) определяли разностным методом: Wпр = W – ВЗ, где W – влажность почвы, определяемая термостатно-весовым методом. Статистическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.*). Зависимость значений показана в виде регрессионных трендов, построенных на основе метода наименьших квадратов.

Запасы продуктивной влаги в период исследований (1982–2020 гг.) в пахотном слое каштановой почвы при паровании классифицировали как неудовлетворительные (менее 20 мм) в мае–июне и удовлетворительные (20…40 мм) – с июля по август. В метровом слое почвы с мая до второй декады августа запасы продуктивной влаги были удовлетворительными (90…130 мм), а в более поздние сроки – хорошими (рис. 1). Во всех слоях почвы они изменялись согласно параболическому тренду с минимумом в начале июня. Влияние выпадающих осадков на запасы влаги в почве ослабевало с глубиной оцениваемого слоя. Высокая изменчивость поступления среднемесячных осадков (V = 50…129 %), обусловила и большую вариабельность содержания влаги в поверхностном слое 0…20 см (37…73 %), в слое 20…50 см она была меньше (25...60 %) и в слое 50…100 см самой низкой (21...40 %).

Запасы влаги в паровом поле зависели не только от погодных условий, но и от обработки почвы. Наибольшее их снижение отмечали в I декаде июня, в этот срок вспашка с оборотом пласта совпадала с минимумом осадков за летний период, что приводило к иссушению в первую очередь пахотного слоя. Поверхностные культивации сокращали запасы влаги в 0…50 см слое почвы в III декаде июня и II декаде июля. Меньшее влияние оказала культивация во II декаде августа – по-видимому, снижение суточных температур при выпадении более 20 мм осадков не приводит к значительным потерям влаги (см. рисунок).

В результате обработки почвы образуются выбросы средних значений влажности почвы относительно общего тренда. Изменение равновесной плотности поверхностного слоя снижает корреляционную зависимость влажности почвы от метеоусловий, поскольку создаются условия, способствующие увеличению испарения влаги с поверхности. В состояние равновесной плотности почва приходит в течение 7...14 дней в зависимости от метеоусловий.

На увлажнение почвы влияют не только осадки, мигрирующие по гравитационному градиенту, но и ресурсы влаги сезонной мерзлоты, перемещающиеся вследствие теплопереноса парообразной влаги при оттаивании и замерзании почвы [6]. Баланс между испарением влаги и поступлением ее с осадками и из мерзлоты формирует основной пул почвенной влаги. Вследствие этого, скорость и масштаб изменения влажности почвы в различных ее слоях регулируются режимом выпадения осадков и температурой воздуха в отдельные периоды [12].

Условно весь цикл годового оборота влаги в паровом поле можно разделить на три периода по преобладающим процессам ее переноса:

май–июнь – в этот период сезонная мерзлота полностью оттаивает на глубину промерзания 2,0…3,0 м. Основным фактором формирования влажности почвы выступает баланс между количеством парообразной влаги, перемещающейся из глубины при оттаивании мерзлоты, вкупе с осадками, с одной стороны, и расходом вследствие испарения с поверхности, с другой;

июль–октябрь – в почве отсутствует сезонная мерзлота. Основными факторами изменения ее влажности выступают сумма выпадающих осадков и испарение с поверхности;

ноябрь–апрель – период от замерзания почвы и до начала оттаивания. Перемещение влаги в почвенной толще происходит вследствие теплопереноса парообразной влаги с более глубоких горизонтов к кайме замерзания и конденсации атмосферной влаги с поверхности. Влияние на баланс влаги как испарения с поверхности мерзлой почвы, так и поступления осадков низкое.

Стартовые запасы продуктивной влаги в паровом поле. Метровый слой почвы полностью оттаивает во второй декаде мая, в связи с этим стартовые запасы продуктивной влаги в почве определяли именно в этот срок. Ресур-

2. Основные агрогидрологические свойства каштановой почвы

Глубина	Удельная масса, г/см³	Плотность, г/см³	Запасы влаги, мм				
			МГ*	ВЗ	НВ	КВ	ПВ
0…10	2,70	1,48	3	4	12	30	38
10…20	2,69	1,55	3	4	11	29	35
20…30	2,68	1,61	4	4	12	34	36
30…40	2,70	1,65	4	4	12	31	35
40…50	2,69	1,65	4	4	12	28	35
50…60	2,69	1,63	4	4	14	31	36
60…70	2,70	1,53	5	6	12	35	37
70…80	2,69	1,61	4	4	21	24	36
80…90	2,69	1,65	4	5	19	29	35
90…100	2,69	1,60	3	4	18	30	37
0…20	Запасы влаги отдельных категорий (в слое почвы)		6	8	23	59	73
0…50			18	20	59	152	179
0…100			36	43	143	301	360
0…20	Наибольший запас продуктивной влаги при НВ, КВ, ПВ				15	51	65
0…50					39	132	159
0…100					100	258	317

**МГ – максимальная гигроскопическая влага, ВЗ – влажность завядания, НВ – наименьшая влагоемкость, КВ – капиллярная влагоемкость, ПВ – полная влагоемкость.*

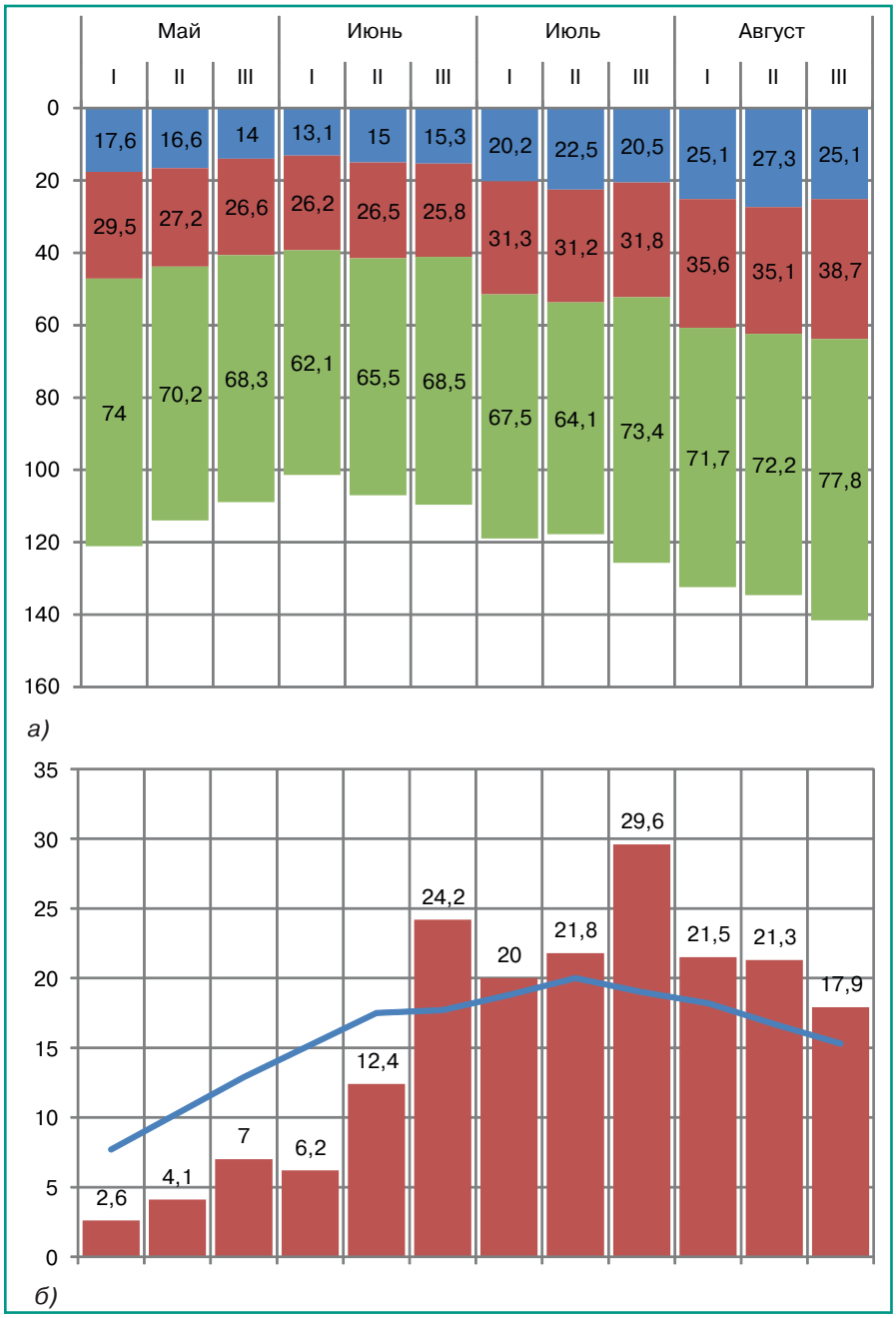

Рисунок. *Динамика изменений запасов продуктивной влаги в почве (а), осадков и температуры воздуха (б) в период исследований (май–август 1983–2020 гг.): — слой почвы 50...100 см; — слой почвы 20...50 см; — слой почвы 0...20 см; — осадки, мм; — t, °С.*

сы влаги в паровом поле в начале парования формировались с уборки предшествующих культур. На содержание продуктивной влаги во второй декаде мая влияли осадки и температура воздуха за период с уборки предшественника, то есть с августа предыдущего года по вторую декаду мая текущего года, на день определения. Корреляционный анализ позволил определить влияние метеорологических условий за этот период на накопление стартовых запасов влаги (табл. 3). Выявлено влияние осадков на увлажнение только слоя 0...50 см. Запасы продуктивной влаги во второй декаде мая в почве парового поля в этом слое достоверно зависели от количества осадков, выпавших в августе (r = 0,39...0,49) при уборке культур, и непосредственно в мае (r = 0,37...0,39) в период определения влажности. Связь с осадками под вегетирующими культурами в более ранние летние месяцы (июнь–июль) была очень низкой (r = 0,03...0,12). В августе под зерновыми культурами резко снижаются эвапотранспирационные потери влаги, так как растения в условиях сухой степи Бурятии переходят к стадии созревания и значительно сокращают ее потребление. При этом высокий стеблестой снижает испарение с поверхности почвы вследствие уменьшения ветровой нагрузки и снижения температур почвы при повышении альбедо. В конце июля и начале августа отмечается годовой пик выпадения осадков. В условиях сухостепной зоны Бурятии под посевами зерновых культур осадки августа аккумулируются и участвуют в формировании водного режима почвы следующего полевого сезона.

Активный влагооборот осадков в период наших наблюдений ограничивался слоем почвы 0...50 см, так как выпавшие осадки не оказывали существенного влияния на накопление влаги в слое 50...100 см. Сумма осадков с сентября по апрель составляла в среднем 59 мм и в формировании весенних запасов влаги они не участвовали. Большая их часть испарялась с поверхности при оттепелях или сдувалась со снегом при увеличении ветровой нагрузки в зимнее время [11].

Тепловой режим зимних месяцев (январь–февраль) и апреля влиял на майские запасы влаги. Чем меньше были морозы в эти месяцы, тем больше накапливалось продуктивной влаги в почве. На наш взгляд, такая ситуация связана с тем, что в случае относительно теплых января и февраля уменьшается глубина и скорость промерзания почвы, вследствие чего увеличивается период теплопереноса парообразной влаги из более глубоких горизонтов почвы, а вследствие этого и содержание влаги во всем метровом слое почвы. Эмпирическое моделирование на основе метода наименьших квадратов позволяет построить адекватные множественные линейные модели определения стартовых запасов продуктивной влаги в различных слоях

3. Корреляционные связи стартового содержания продуктивной влаги в почве парового поля с условиями тепло- и влагообеспеченности

Слой почвы	Месяц									
	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май
с осадками (n = 31)										
0...20	0,39	0,12	0,03	0,02	0,11	0,02	0,03	0,15	-0,11	0,37
20...50	0,42	0,28	-0,13	0,05	0,03	0,12	-0,05	0,06	-0,09	0,39
50...100	0,20	0,00	-0,06	0,22	0,12	0,02	-0,03	0,17	0,08	0,19
с температурой воздуха (n = 31)										
0...20	0,09	-0,20	-0,29	-0,26	-0,16	0,03	0,49	-0,04	0,20	0,12
20...50	0,10	-0,07	-0,12	-0,12	-0,14	0,35	0,52	-0,12	0,20	0,12
50...100	-0,12	-0,07	-0,14	-0,05	-0,30	0,35	0,37	-0,19	0,36	0,11

4. Корреляционные связи изменения запасов продуктивной влаги (Δ ПВ) в почве в летние месяцы в паровом поле с условиями тепло- и влагообеспеченности

Слой почвы	Месяц		
	июнь	июль	август
с суммой осадков ΣW (n = 31)			
0…20	0,59	0,66	0,47
20…50	0,47	064	0,37
50…100	0,68	0,49	0,62
с суммой положительных температур ΣT (n = 3 1)			
0…20	-0,42	-0,19	-0,21
20…50	-0,38	-0,17	-0,24
50…100	-0,18	-0,16	-0,33

почвы парового поля по выявленным предикторам – параметрам прихода атмосферных тепла и влаги.

Факторный анализ выявил, что запасы продуктивной влаги во второй декаде мая в слое почвы 0…20 см ($ПВ_{0...20, май II}$) парового поля в большей степени определяли количество осадков в августе–сентябре предыдущего года ($О_{авг–сент}$), в марте ($О_{март}$) и в первой–второй декадах мая ($О_{май I...II}$), а также среднемесячные температуры воздуха в октябре ($Т_{окт}$), ноябре ($Т_{нояб}$) и феврале ($Т_{февр}$). Прогнозная модель запасов продуктивной влаги по этим предикторам имела следующий вид:

$$ПВ_{0...20, май II}=16,88+0,07\,О_{авг-сент}+ 1,14О_{март}+0,22\,О_{май I...II}+0,52\,Т_{окт}- 0,71\,Т_{нояб}+1,12\,Т_{февр}\ (R^2=0,53)$$

Запасы продуктивной влаги в слое почвы 20…50 см ($ПВ_{20...50, май II}$) зависели от суммарного количества осадков в августе–сентябре предыдущего года ($О_{авг–сент}$) марте ($О_{март}$) и первой–второй декадах мая ($О_{май I...II}$), температуры воздуха в январе ($Т_{янв}$), феврале ($Т_{февр}$) и апреле($Т_{апр}$):

$$ПВ_{20...50, май II}=4,85+0,19\,О_{авг-сент}+ 1,17О_{март}+0,49\,О_{май I...II}+0,01\,Т_{янв}+ 0,34\,Т_{февр}+1,88\,Т_{апр}\ (R^2=0,42)$$

Запасы влаги в слое почвы 50…100 см ($ПВ_{50...100, май II}$) в большей степени определяли температурные параметры в январе ($Т_{янв}$), феврале ($Т_{февр}$) и апреле ($Т_{апр}$) и в меньшей степени осадки августа ($О_{авг}$) и ноября ($О_{нояб}$). Модель прогноза запасов продуктивной влаги в этом слое имела вид:

$$ПВ_{50...100, май II}=32,95+0,29\,О_{авг}+ 1,19О_{нояб}+0,83\,Т_{янв}-1,05\,Т_{февр}+ 6,62\,Т_{апр}\ (R^2=0,15)$$

С глубиной зависимость запасов продуктивной влаги в почве от метеорологических условий уменьшалась, так коэффициенты детерминации построенных моделей в слоях почвы 0…20, 20…50 и 50…100 см снижались соответственно с 0,53 до 0,43 и 0,16. Это подтверждает предположение об укороченности профиля, в котором происходит активный оборот атмосферной влаги.

Запасы продуктивной влаги в период парования (июнь–август). Способность аккумулировать влагу зависит как от свойств почвы, так и от масштабов метеорологических явлений. В первом случае – это водоудерживающая способность различных слоев почвы, определяемая гидрологическими константами, а во втором – количественные характеристики и длительность воздействия осадков и температуры на почву. В условиях сухой степи Бурятии, корреляционные связи запасов продуктивной влаги в течение парования в летние месяцы с текущими среднемесячными осадками были слабыми и незначимыми, что, на наш взгляд, обусловлено как очень высокой их вариабельностью, так и малым количеством. Значимый эффект действия метеоусловий проявлялся при учете их накопительного эффекта за предыдущие месяцы (табл. 4).

Запасы продуктивной влаги в почве в период парования в большей степени зависели от суммарного поступления осадков и положительных температур с момента оттаивания почвы во второй декаде мая. По-видимому, подобное связано с высокой водопроницаемостью супесчаной каштановой почвы, что позволяло ей аккумулировать выпадающие осадки в различных слоях почвы. Поверхностный сток на опытном полигоне отмечали очень редко. Для проведения корреляционного анализа и построения эмпирических моделей, в качестве результирующего фактора мы выбрали прирост запасов продуктивной влаги от исходных значений во второй декаде мая, соответственно: в июне – $Δ\,ПВ_{май-июнь}$, в июле – $Δ\,ПВ_{май-июль}$ и в августе – $Δ\,ПВ_{май-авг.}$ В качестве признака факторов отобраны: сумма осадков, выпавших со второй декады мая по конец каждого месяца ($ΣW_{май–июнь}$, $ΣW_{май–июль}$, $ΣW_{май–авг}$); сумма положительных температур нарастающим итогом за эти же периоды ($ΣT_{май–июнь}$, $ΣT_{май–июль}$, $ΣT_{май–авг}$).

На прирост запасов влаги в метровом слое почвы влияли суммарные осадки, выпавшие на дату определения в летние месяцы (r = 0,37…0,68). Влияние температуры воздуха на запасы влаги было отрицательным в течение всего периода парования (r = -0,17…-0,43). Наиболее значимые взаимодействия описаны в виде линейной множественной регрессии (табл. 5).

Модели характеризуются низкой прогностической значимостью и описывают всего лишь 21…46 % изменений запасов продуктивной влаги. Это, на наш взгляд, связано с тем, что в них не учитывалась миграция влаги из других слоев почвы. По результатам ранее проведенных исследований, восходящий диффузионный подъем парообразной влаги к поверхности супесчаной каштановой почвы происходит с глубины 150…200 см [13]. Между тем, построенные модели дают общее представление о движении влаги в метровом слое каштановой почвы при перемене погодных условий.

Таким образом, паровое поле, обрабатываемое по типу черного пара, в двухпольном севообороте выполняет функцию влагонакопления для зерновых культур в аридных условиях сухой степи Западного Забайкалья. В метровом профиле почвы запасы продуктивной влаги с мая по вторую декаду августа классифицируются как удовлетворительные, а в более поздние сроки – как хорошие. Активный влагооборот осадков в почве парового поля ограничивается слоем почвы 0…50 см.

Запасы продуктивной влаги в почве на начало парования зависят от прихода осадков за предыдущий период, в основном в августе, и во время определения (начало мая). Сумма осадков с сентября по апрель составляет в среднем 59 мм и в формировании весенних запасов влаги

5. Эмпирические модели зависимости запасов продуктивной влаги в почве от метеорологических условий в летние месяцы

Слой почвы, см	Эмпирическая модель запасов продуктивной влаги	R^2
	июнь	
0…20	$Δ\,ПВ_{май–июнь}=29,90+0,26\,ΣW_{июнь}-0,07\,ΣT_{июнь}$	0,42
20…50	$Δ\,ПВ_{май–июнь}=16,42+0,14\,ΣW_{июнь}-0,04\,ΣT_{июнь}$	0,25
50…100	$Δ\,ПВ_{май–июнь}=0,54\,ΣW_{июнь}-30,72$	0,47
	июль	
0…20	$Δ\,ПВ_{май–июль}=0,22\,ΣW_{июль}-23,27$	0,46
20…50	$Δ\,ПВ_{май–июль}=0,27ΣW_{июль}-25,68$	0,39
50…100	$Δ\,ПВ_{май–июль}=0,32\,ΣW_{июль}-40,45$	0,24
	август	
0…20	$Δ\,ПВ_{май–авг}=0,095\,ΣW_{авг}-9,12$	0,21
50…100	$Δ\,ПВ_{май–авг}=0,312ΣW_{авг}-47,22$	0,39

в почве они не участвуют. На запасы продуктивной влаги в почве определенное влияние оказывает температура воздуха: в слое 0…20 см – среднемесячные температуры в октябре, ноябре и феврале; в слое 20…50 см – в январе, феврале и апреле; в слое почвы 50…100 см – в январе, феврале, апреле. На запасы продуктивной влаги в почве в период парования оказывает среднее влияние сумма осадков, выпадающих с середины мая (r = 0,37...0,68). Наибольшее отрицательное влияние на запасы продуктивной влаги в слое почвы 0…50 см оказал рост температур в июне.

Литература.

1. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop / J. W. White, G. Hoogenboon, B. A. Kimball, et al. // Field Crops Research. 2011. No. 124 (3). P. 357–360. doi: 10.1016/j.fcr.2011.07.001.

2. Boote K. J., Jones J. W., Hoogenboon G. Simulation of crop growth: CROPGRO model // Agricultural Systems modeting and Simulation. Publisher: CRC Press, 2018. P. 651–692.

3. Использование динамической модели агроэкосистемы для оценки влияния климатических изменений на продуктивность посевов / Р. А. Полуэктов, А.Г. Топаж, В.П. Якушев и др. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 2. С.7–11.

4. Rising temperature reduce global wheat production / S. Asseng, F. Ewert, P. Martre, et al. // Nature climate change. 2015. No. 5 (2). P. 143–147. doi: 10.1038/nclimate2470.

5. 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.

6. Билтуев А. С., Лапухин Т. П., Будажапов Л. В. Климат, плодородие почв и продуктивность зерновых культур в аридных условиях Забайкалья: состояние и прогноз. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В. Р. Филиппова, 2015. 141 с.

7. Уланов А. К., Будажапов Л. В. Продуктивность каштановой почвы в зависимости от условий увлажнения при многолетнем воздействии севооборотов, приемов основной обработки и удобрения // Земледелие. 2019. № 1. С. 15–18. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10104.

8. Бохиев В. Б., Батудаев А. П., Лапухин Т. П. Научные основы систем земледелия Бурятии. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2008. 480 с.

9. Система земледелия Республики Бурятия: научно-практические рекомендации. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2018. 349 с.

10. Обязов В. А. Изменения современного климата и оценка их последствий для природных и природно-антропогенных систем Забайкалья: автореф. дисс.…. д-ра геогр. наук. Казань, 2014. 38 с.

11. Куликов А. И., Дугаров В. И., Корсунов В. М. Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1997. 312 с.

12. Агрофизические свойства и динамика влажности каштановой почвы в условиях засухи в сухостепной зоне Бурятии / А. С. Билтуев, Л. В. Будажапов, А. К. Уланов и др. // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (42). С. 77–83.

Influence of meteorological conditions on the content of productive moisture in the fallow field with chestnut soils of Transbaikalia

A. S. Biltuev, A. K. Ulanov, L. V. Budajapov
Buryatia Research Agricultural Institute, ul. Tret'yakova, 25z, Ulan-Ude, 670045, Russian Federation

Abstract. *The analysis of data on weather conditions and the content of productive moisture in the soil in a long-term series allows us to identify regional features of moisture accumulation in the agro-ecosystems of the dry steppe of Western Transbaikalia. The purpose of the work was to determine the average long-term dynamics of the accumulation of productive moisture in various layers of chestnut soil in the fallow field, depending on meteorological conditions, and to present the revealed regularities in the form of empirical models. The research was carried out in 1982–2020 in the southern dry-steppe zone of the Republic of Buryatia in a two-field crop rotation of fallow field and wheat. In the fallow field, a combined tillage system was used (in spring – shallow flat-cut processing by 12–14 cm, in summer – deep ploughing by 28–30 cm with subsequent cultivations as weeds regrow). The soil of the experimental site was medium-thick, powdery carbonate chestnut sandy loam seasonally permafrost with a humus content of 1.3%, has high water permeability (236–298 mm/hour) and low water retention capacity. The high variability of the average monthly precipitation (V = 50–129%) also caused a high variability of the moisture content in the surface layer (0–20 cm) – 37–73%, the lower variability in the layer 20–50 cm – 25–60%, and the lowest one in the layer 50–100 cm – 21–40%. The initial content of productive moisture in the second decade of May in the fallow field in the layers of 0–20 and 20–50 cm depended on the amount of precipitation that fell in the previous August (r = 0.39–0.49) and precipitation that fell in May during the period of determining humidity (r = 0.37–0.39). Empirical modelling based on long-term data (31 years) allowed us to construct adequate multiple linear models for determining the starting reserves of productive moisture in various layers of the fallow field according to the identified predictors – the parameters of atmospheric heat and moisture accumulation.*

Keywords: *meteorological conditions; chestnut soil; productive moisture; bare fallow; empirical models.*

Author Details: *A. S. Biltuev, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow (e-mail: burnish@inbox.ru); A. K. Ulanov, D. Sc. (Agr.), leading researcher fellow; L. V. Budazhapov, Corresponding member of the RAS, D. Sc. (Biol.), director.*

For citation: *Biltuev AS, Ulanov AK, Budajapov LV [Influence of meteorological conditions on the content of productive moisture in the fallow field with chestnut soils of Transbaikalia]. Zemledelie. 2022;(3):8-12. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-8-12.*

doi:10.24412/0044-3913-2022-3-12-16
УДК 631.582

Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрального Черноземья*

А. С. АКИМЕНКО, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: vniiz.sevooborot@mail.ru)
В. И. СВИРИДОВ, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Т. А. ДУДКИНА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
В. Г. ВАВИН, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, Курск, 305021, Российская Федерация

Исследование проводили с целью оценки зависимости зерновой продуктивности специализированных свекловичных севооборотов и воспроизводства в них плодородия почвы от степени биологизации и удобрений. Стационарный опыт заложен в Курской области на черноземе типичном тяжелосуглинистом с содержанием гумуса 5,2 %. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: севооборот (фактор А) – зернопаропропашной, сидеральный, плодосменный; уровень удобренности (фактор В) – низкий (6 т навоза), повышенный (12 т навоза + $N_{37}P_{37}K_{37}$ на 1 га севооборота + солома). Горох на сидерат заделывали в почву в фазе цветения. Урожайность озимой пшеницы после чистого и сидерального паров была в 1,2 раза выше, чем после занятого пара, а ячменя после гороха – в 1,1 раза больше, чем после кукурузы. Самая высокая в опыте зерновая продуктивность достигнута в плодосменном севообороте благодаря наличию 60 % зерновых и зернобобовых культур. Она была в 1,2 выше, чем в других севооборотах. На слабоудобренном фоне продуктивность сидерального, плодосменного и зернопаропропашного севооборотов формировалась благодаря расходу гумуса соответственно

**работа выполнена в рамках Госзадания ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» по теме FGZU-2022-0005*

на 28,0, 40,0 и 49,5 %, что обусловило увеличение во времени разницы в урожайности зерновых культур на контрастных по удобренности фонах. В структуре общих затрат расходы на удобрения на слабоудобренном фоне составили 7,7 % против 24,3 % на фоне с сочетанием двойной нормы навоза с минеральными удобрениями. Поэтому при лучшей удобренности уровень рентабельности снизился в 1,3 раза, но потребность в затратах на воспроизводство плодородия уменьшилась в 1,2…1,3 раза. Благодаря зеленому удобрению эколого-экономический эффект в сидеральном севообороте оказался на 20 % выше, чем в зернопаропропашном, при равном составе культур и практически одинаковой их урожайности.

Ключевые слова: *севооборот, зерновая продуктивность, биологизация, воспроизводство плодородия, прибыль, эколого-экономический эффект.*

Для цитирования: *Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрального Черноземья / А. С. Акименко, В. И. Свиридов, Т. А. Дудкина и др. // Земледелие. 2022. №3. С. 12–16. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-12-16.*

Дальнейшее увеличение сбора зерна высокого качества – приоритетное направление развития сельскохозяйственного производства Российской Федерации на среднесрочную перспективу. Решение этой задачи в благоприятных для возделывания востребованных высокопродуктивных культур условиях Центрального Черноземья возможно только посредством экологически безопасной интенсификации земледелия. Значимой составной частью такой интенсификации служит биологизация, включающая построение схем севооборотов для обеспечения благоприятного фитосанитарного состояния посевов; использование биологических средств повышения урожайности и воспроизводства плодородия почв.

Логистическая целесообразность предопределяет концентрацию посевов сахарной свеклы вблизи перерабатывающих предприятий, а требование этой культуры к показателям почвенного плодородия обусловливает неизбежность введения специализированных свекловичных севооборотов, в которых фитосанитарное состояние посевов контролируется соблюдением допустимых сроков возврата культуры [1, 2, 3] и отсутствием необходимости повторного размещения зерновых. Однако в таких севооборотах практически исключена возможность возделывания многолетних бобовых трав – наиболее эффективного биологического способа воспроизводства почвенного плодородия.

Накопленный в последние годы экспериментальный материал свидетельствует о положительном влиянии биологизации [4, 5, 6] и сочетания минеральных удобрений с органическими [6, 7, 8] на урожайность и плодородие почвы. Вместе с тем, в научной литературе недостаточно сведений об экономической оценке полученных результатов, что не способствует согласованию экологических и хозяйственных задач.

Цель исследования – оценить зависимость зерновой продуктивности специализированных свекловичных севооборотов и воспроизводства в них плодородия почвы от степени биологизации и удобрений.

Для её достижения решали следующие задачи: проанализировать зависимость урожайности зерновых культур от предшественников и её изменение во времени в связи с уровнем удобренности в севооборотах; определить зерновую продуктивность севооборотов в зависимости от состава и чередования культур; рассчитать эколого-экономическую эффективность севооборотов. Их актуальность обусловлена необходимостью совершенствования севооборотов в направлении организации энергомассопереноса соответственно задачам эколого-экономической оптимизации сельскохозяйственного природопользования [9, 10], что важно для взаимоувязанного достижения целей устойчивого развития.

Материалом для исследования послужили собственные экспериментальные данные авторов, полученные в многолетнем стационарном полевом опыте, а также других научно-исследовательских учреждений региона, содержащиеся в научных публикациях.

Стационарный полевой опыт заложен в трехкратной повторности с систематическим размещением вариантов. Расположение его в пространстве и во времени всеми полями обеспечило наличие ежегодных сведений по всем вариантам. Посевная площадь делянок 202,5 м^2 (8,1 м × 20 м), учетная – варьировала в зависимости от культуры и уборочной техники.

Схема опыта предполагала изучения следующих вариантов:

севооборот (фактор А) – зернопаропропашной (черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень); сидеральный (сидеральный пар (горох) – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень); плодосменный (клевер 1-го укоса – озимая пшеница – сахарная свекла – горох – ячмень + клевер под покров). Степень биологизации севооборотов определяло наличие культур-почвоулучшителей: отсутствие их в зернопаропропашном, внесение зеленого удобрения (горох) в сидеральном, наличие клевера и гороха на зерно в плодосменном севооборотах;

уровень удобренности (фактор В) – низкий (6 т навоза); повышенный (12 т навоза + $N_{37}P_{37}K_{37}$ на 1 га севооборотной площади + оставление нетоварной части урожая).

Сидеральную культуру (горох) заделывали в почву в 2 следа в фазе цветения. Навоз в дозах 30 т/га (фон с низким уровнем удобренности) и 60 т/га (фон с повышенным уровнем удобренности) заделывали осенью под предшественники озимой пшеницы. Минеральные удобрения под сахарную свеклу ($N_{90}P_{90}K_{90}$) также вносили осенью под вспашку, под озимую пшеницу ($N_{60}P_{60}K_{60}$) – перед предпосевной культивацией. На ячмене изучали последействие внесенных в севооборотах удобрений. После уборки клевера проводили мелкую вспашку, сидерат заделывали в почву тяжелой дисковой бороной.

Почва опытного участка – чернозем типичный тяжелосуглинистый. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0…30 см) следующая: содержание гумуса по Тюрину – 5,11 %; pH_{KCl} – 6,53 ед.; гидролитическая кислотность Нг – 3,30 мг-экв./100 г; сумма поглощенных оснований – 30,70 мг-экв./100 г; азот щелочногидролизуемый (по Корнфилду в модификации ЦИНАО) – 180 мг/кг; фосфор и калий подвижный (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 97,9 и 88,3 мг/кг соответственно.

Урожайность определяли методом сплошного учета. При расчете зерновой продуктивности севооборотов сумму урожайности зерновых культур в них делили на 5 (количество полей). Экономическую эффективность производства продукции определяли на основе отчетов об отраслевых показателях хозяйственной деятельности организаций агропромышленного комплекса Курской области в среднем за 2018–2020 гг. с учетом всех культур в севооборотах опыта. Учитывали затраты, непосредственно связанные с выращиванием урожая и относимые на себестоимость продукции (семена, удобрения, средства защиты растений, нефтепродукты, содержание основных средств, оплата труда, амортизация, накладные расходы). Абсолютную эколого-экономическую эффективность севооборотов определяли по разнице между прибылью от реализации продукции и затратами на достижение уравновешенного баланса гумуса, которые рассчитывали через необходимое количество навоза, где соотношение между азотом и углеродом близко к их соотношению в гумусе.

Метеоусловия в годы проведения исследования отличались большим разнообразием. При среднегодовой сумме осадков за период исследований 587 мм их количество варьировало по годам от 50 до 124 % от нормы, а в период от весны до полной спелости зерна пшеницы и ячменя – от 29 до 136

1. Динамика урожайности зерновых культур в севооборотах в зависимости от уровня удобренности, т/га

Годы	Культура													
	озимая пшеница						ячмень						горох	
	севооборот*													
	А		Б		В		А		Б		В		В	
	У**	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	У	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	У	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	У	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	У	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	У	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	У	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %
1992–1996	3,84 / 4,48	14,3	3,72 / 4,27	12,9	3,53 / 3,88	9,0	3,87 / 4,05	4,4	3,83 / 4,18	8,4	4,69 / 5,26	10,8	1,91 / 1,96	2,6
1997–2001	4,00 / 4,68	14,5	3,89 / 4,30	9,5	3,46 / 3,81	9,1	3,28 / 3,60	8,9	3,65 / 3,72	1,9	3,43 / 3,89	11,8	1,89 / 1,94	2,6
2002–2006	3,34 / 4,12	18,9	3,30 / 4,06	18,7	2,75 / 3,18	13,5	3,99 / 4,08	2,2	3,86 / 4,06	4,9	3,82 / 4,75	19,6	1,87 / 2,03	7,9
2007–2011	3,56 / 4,57	22,1	3,64 / 4,36	16,5	3,07 / 3,65	15,9	2,62 / 3,43	23,6	2,95 / 3,40	13,2	2,93 / 3,55	17,5	1,80 / 1,92	6,3
2012–2015	3,61 / 4,65	22,4	3,67 / 4,45	17,5	2,94 / 3,53	16,7	2,36 / 3,90	39,5	2,60 / 3,92	33,7	3,47 / 4,45	22,0	1,78 / 1,90	6,3
1992–2015	3,67 / 4,50	18,4	3,64 / 4,29	15,2	3,15 / 3,61	12,7	3,22 / 3,81	15,5	3,38 / 3,86	12,4	3,67 / 4,38	16,2	1,85 / 1,95	5,1
$НСР_{05}$, т/га														
фактор севооборот				0,58						0,40				0,09
фактор удобрение				0,37						0,42				0,13

А – зернопаропропашной, Б – сидеральный, В – плодосменный;

***урожайность: в числителе – 6 т навоза на 1 га севооборота ($У_I$), в знаменателе – 12 т навоза+ $N_{37}P_{37}K_{37}$ на 1 га севооборота ($У_{II}$).*

%. Вместе с тем, по пятилетним периодам исследований (продолжительность ротации на каждом из полей) значительных отклонений в метеорологических показателях от среднемноголетних значений не отмечено.

Зерновая продуктивность севооборотов зависит от насыщения их зерновыми культурами и реализации генетического потенциала последних в связи с размещением после предшественников. В силу оптимальной (применительно к свекловичным севооборотам) доли зерновых культур и размещения их после рекомендованных предшественников наличие фитофагов и болезней в посевах пшеницы и ячменя в годы исследований не превышало экономического порога вредоносности. Поэтому на величину урожайности и различия в ней повлияли в основном предшественники и удобрения (табл. 1).

В среднем за годы исследований наибольшая урожайность озимой пшеницы достигнута при размещении после чистого пара благодаря лучшим условиям для получения дружных своевременных всходов, что способствовало уже с осени повышению кустистости и лучшей перезимовке, а глубокое проникновение корневой системы обеспечивало более эффективное использование ресурса влагообеспеченности в период от возобновления вегетации до созревания зерна. Снижение урожайности после занятого пара составляло 14,0…14,8 % относительно чистого, а после сидерального оно было несущественным. Средняя за 24 года урожайность ячменя после гороха оказалась на 12,3…13,0 % выше, в сравнении с его размещением после кукурузы на силос

Относительная разница в урожайности всех зерновых культур в зависимости от уровня удобренности увеличивалась во времени, при том, что абсолютные значения урожая варьировали в зависимости от погодных условий. В пятой ротации севооборотов, по сравнению с первой, преимущество положительного влияния большего уровня удобренности увеличивалось – на озимой пшенице после чистого и сидерального паров соответственно в 1,6 и 1,4 раза, а на ячмене, непосредственно под который удобрения не вносили, – в 2 раза после гороха и в 4…9 раз после кукурузы. Причина этого не в накоплении положительного эффекта от удобрений, а в неодинаковой скорости снижения плодородия почвы из-за разного уровня его воспроизводства. Так, среднее снижение урожайности зерновых культур за период вторая – пятая ротации относительно первой (сумма отклонений (±), деленная на 4) на слабоудобренном фоне оказалось в 1,2…2,7 раза большим. Включение в чередование сидерального пара позволило замедлить это снижение – на низком фоне удобрений урожайности озимой пшеницы в 2,1 и ячменя в 1,4 раза, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом.

Объяснение увеличения со временем относительной разницы в урожайности изменением плодородия почвы подтверждено экспериментальными данными о балансе элементов минерального питания и гумуса, который на фоне удвоенной нормы навоза и применения минеральных удобрений был положительным по фосфору и калию при уменьшении дисбалансов азота и гумуса, а на низком уровне удобренности – отрицательным по азоту, фосфору, калию и гумусу [11]. Это согласуется с законом возврата и тем фактом, что в условиях региона с увеличением норм удобрений уменьшается потребление азота из почвы, а его нехватка на формирование урожая при достаточной влагообеспеченности компенсируется благодаря минерализации гумуса [12, 13].

На использовании плодородия почвы для формирования продуктивности севооборотов отразились их структура, степень биологизации и уровень удобренности (см. рисунок).

Более высокая (на 11…14 %) продуктивность зернопаропропашного и сидерального севооборотов, в сравнении с плодосменным, обусловлена наличием в них более продуктивной, сравнительно с одним укосом клевера, кукурузы на силос. С урожаем последней отчуждается большое количество углерода [14], который наравне с азотом выступает как один из основных элементов в составе гумуса. Если высвобождающийся при минерализации органического вещества (навоз, сидерат, побочная продукция) азот полностью контролируется микроорганизмами в его внутрипочвенном цикле [15, 16, 17], то углерод при отсутствии на поле растительности непроизводительно теряется в атмосферу. Площадь сидерального севооборота использовалась на 70 % против 60 % в других севооборотах, что в сочетании с внесением зеленого удобрения обусловило наименьший в опыте (в 1,8…1,9 раза, по сравнению с зернопаропропашным севооборотом) расход гумуса на формирование продуктивности пашни.

Сбор зерна в севооборотах любого производственного назначения предопределен долей и составом зерновых культур, размещение которых отражается на урожайности. В специализированных свекловичных севооборотах доля сахарной свеклы должна быть в пределах 20…25 %, что позволяет по принципу периодичности возвращать её на прежнее место на пятый или четвертый год. Соответственно, и количество полей в севообороте должно быть кратным пяти или четырем. Централь-

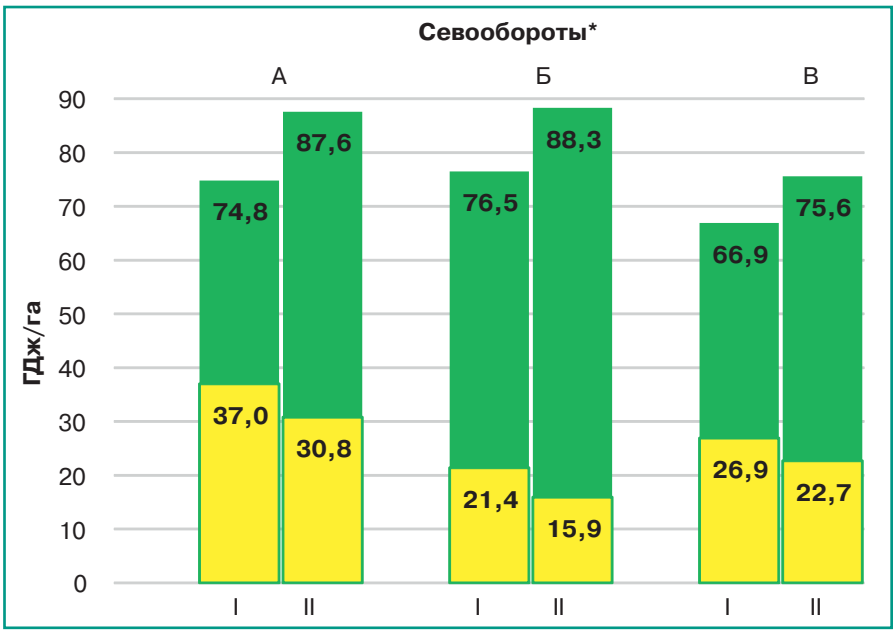

Рисунок. *Формирование продуктивности севооборотов вследствие действия удобрений и расхода гумуса, ГДж/га в год обменной энергии: А – зернопаропропашной, Б – сидеральный, В – плодосменный севообороты; I – низкий уровень удобренности, II – повышенный уровень удобренности: ■ – продуктивность; □ – в том числе вследствие убыли гумуса.*

ное звено в таких севооборотах – «надежный предшественник озимой пшеницы (например, чистый пар) – озимая пшеница – сахарная свекла», а поэтому иметь в них долю озимых больше, чем свеклы, не представляется возможным. В нашем опыте наибольшая зерновая продуктивность за годы исследований достигнута при наличии 60 % зерновых и зернобобовых культур в плодосменном севообороте – в 1,2 раза выше (в пределах уровней удобрений), чем в других севооборотах (табл. 2).

Превосходство этого севооборота в наибольшей степени проявилось в первой (в 1,3 раза) и в наименьшей – в четвертой ротации, когда условия осени в 2009–2010 гг. были крайне неблагоприятными для получения своевременных всходов озимых. Разница в зерновой продуктивности в зависимости от удобрений увеличивалась во времени аналогично и по той же причине, что и в урожайности зерновых культур. В наибольшей степени это проявилось в зернопаропропашном севообороте, в наименьшей – в плодосменном.

Показатели эколого-экономической эффективности стали, по сути, следствием влияния севооборотов и удобрений на урожайность культур и плодородие почвы (табл. 3). Большему уровню удобренности соответствовала более высокая стоимость продукции. Однако доля расходов на увеличение урожайности и воспроизводство плодородия в структуре общих затрат на производство продукции составляла в среднем 7,7 % на слабоудобренном фоне против 24,3 % на фоне с сочетанием двойной нормы навоза с минеральными удобрениями. На последнем фоне общие производственные затраты (включая дополнительные на уборку большего урожая) увеличились в 1,3 раза, а продуктивность в стоимостном выражении возросла только на 15…17 %, поэтому увеличение прибыли от реализации продукции оказалось малозаметным. В свою очередь, это изменение соотношения между прибылью и затратами обусловило при лучшей удобренности снижение уровня рентабельности производства продукции в 1,3 раза.

Аналогично изменению во времени различий в урожайности, относительное увеличение во времени разницы в стоимости продукции на контрастных по удобренности фонах составило от 7,2…8,0 % в первой до 15,4…17,2 % в пятой ротации. Благодаря зеленому удобрению, расход гумуса в сидеральном севообороте оказался в 1,7…1,9 и 1,2…1,4 раза меньшим, чем в зернопаропропашном и плодосменном севооборотах соответственно. Подобной оказалась разница в предполагаемых затратах на восстановление дефицита гумуса, с учетом которой наибольший эколого-экономический эффект достигнут в севообороте с сидеральным паром.

Таким образом, в узкоспециализированных свекловичных севооборотах Центрального Черноземья лучшими предшественниками озимой пшеницы выступают чистый и сидеральный пары, ячменя – горох, обеспечивающие увеличение урожайности этих культур в 1,2 и 1,1 раза, в сравнении с их размещением, соответственно, после занятого пара и кукурузы на силос.

Разница в урожайности всех зерновых культур в зависимости от уровня удобренности увеличивалась во времени из-за большего снижения плодородия почвы на слабоудобренном фоне, где общая продуктивность сидерального, плодосменного и зернопаропропашного севооборотов формировалась вследствие расхода гумуса на 28,0, 40,0 и 49,5 % соответственно.

Сбор зерна с 1 га севооборотной площади в насыщенном зерновыми на 60 % плодосменном севообороте был выше, чем в других севооборотах, при низком уровне удобрений на 16…18 %, при умеренном – на 19…20 %. Разница в зерновой продуктивности севооборота, как и в урожайности конкретных зерновых культур, в зависимости от удобрений повышалась во времени.

Влияние степени биологизации севооборотов отразилось на их эколого-экономической эффективности. При равном составе обеспечивающих доход культур и практически одинаковой их урожайности эколого-экономический эффект (разница между прибылью от реализации продукции и денежными затратами на возобновление плодородия почвы) в сидеральном севообороте благодаря зеленому удобрению более чем в 1,2 раза выше, чем в зернопаропропашном.

Подтверждена положительная роль биологизации земледелия, которая в специализированных свекловичных

2. Динамика сбора зерна с 1 га севооборотной площади, т

Годы	Севооборот								
	зернопаропропашной			сидеральный			плодосменный		
	$У_I$	$У_{II}$	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	$У_I$	$У_{II}$	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %	$У_I$	$У_{II}$	$(У_{II}–У_I)/У_{II}$, %
1992–1996	1,52	1,70	10,6	1,50	1,70	11,8	2,02	2,24	9,8
1997–2001	1,40	1,66	15,7	1,38	1,58	12,7	1,70	1,92	11,5
2002–2006	1,30	1,64	20,7	1,38	1,62	14,8	1,70	2,00	15,0
2007–2011	1,24	1,60	22,5	1,26	1,52	17,1	1,54	1,78	13,5
2012–2015	1,38	1,70	18,8	1,44	1,68	14,3	1,64	1,98	17,2
1992–2015	1,37	1,66	17,6	1,39	1,62	14,1	1,72	1,98	13,1

3. Эколого-экономическая эффективность севооборотов в зависимости от уровня удобренности (среднее за 1992-2015 гг.), на 1 га в год

Показатель	Уровень удобренности	Севооборот		
		зернопаро-пропашной	сидеральный	плодосменный
Стоимость продукции, тыс. руб.	I	44,87	45,92	40,14
	II	52,58	52,99	46,75
Затраты на производство продукции, тыс. руб.	I	22,58	23,40	23,02
	II	29,90	30,17	29,32
Прибыль от реализации продукции, тыс. руб.	I	22,29	22,52	17,12
	II	22,68	22,82	17,43
Уровень рентабельности производства продукции, %	I	98,7	96,2	74,4
	II	75,9	75,6	59,4
Дефицит гумуса в почве, т	I	1,61	0,93	1,15
	II	1,34	0,69	0,99
Стоимостная оценка дефицита гумуса, тыс. руб.	I	8,05	4,65	5,75
	II	6,70	3,45	4,95
Годовой эколого-экономический эффект, тыс. руб.	I	14,24	17,87	11,37
	II	15,98	19,37	12,48

севооборотах реально осуществима посредством включения в их структуру сидерального пара и зернобобовых культур. Для одновременного достижения в таких севооборотах высоких сборов зерна и свеклосахарного сырья оптимальным чередованием выступает «сидеральный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – зернобобовые – ячмень» при обязательном соблюдении закона возврата.

Литература

1. Дудкин В. М. Интенсивные свекловичные севообороты в Центрально-Черноземной зоне. М.: Агропромиздат, 1990. 111 с.

2. Мамсиров Н. И. Оптимизация системы обработки почв как фактор повышения их плодородия и продуктивности пропашных культур: монография. Майкоп: Магарин О. Г., 2015. 287 с.

3. Götze P., Rücknagel J., Christen O. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years // European Journal of Agronomy. 2017. Vol. 82. P. 50–59. doi: 10.1016/j.eja.2016.10.003.

4. Хрюкин Н. Н., Дедов А. В., Несмеянова М. А. Влияние приемов биологизации на скорость разложения растительных остатков и продуктивность севооборотов // Плодородие. 2017. № 4 (97). С. 52–56.

5. Влияние способов обработки и средств биологизации на агрофизические свойства чернозема типичного тяжелосуглинистого среднемощного низкогумусного, подстилаемого галечником / Х. А. Хусайнов, А. В. Тунтаев, М. С. Муртазалиев и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 19–23.

6. Схемы чередования сельскохозяйственных культур в биологизированных севооборотах Центрального Черноземья / В. И. Турусов, В. М. Гармашов, О. А. Богатых и др. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12-3 (66). С. 147–150.

7. Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С. Влияние длительного применения систем удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 2. С. 43–48.

8. Karabutov A. P., Tyutunov S. I., Solovichenko V. D. Humus status of typical black soil under different intensity of arable land usage // EurAsian Journal of BioSciences. 2019. Vol. 13. No. 2. P. 1317–1321.

9. Кирюшин В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. 2018. № 3. С. 3–7.

10. Формирование севооборотов для получения заданного количества свеклосахарного сырья в лесостепи Центрального Черноземья / А. С. Акименко, Н. В. Долгополова, В. Г. Вавин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 11. С. 16-20.

11. Akimenko A. S., Masyutenko N. P., Dudkina T. A. The use of natural resources and reproduction of soil fertility in obtaining a given quantity of products // BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference. Kursk, 2021. Vol. 32. P. 02006. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/full_html/2021/04/bioconf_ppsis2021_02006/bioconf_ppsis2021_02006.html (дата обращения: 25.01.2022). doi: 10.1051/bioconf/20213202006.

12. Минакова О. А., Александрова Л. В., Подвигина Т. Н. Продуктивность зерносвекловичного севооборота при краткосрочном и длительном применении удобрений в ЦЧР // Земледелие. 2021. № 2. С. 18–22. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10204.

13. Цыгуткин А.С., Азаров А.В. Изучение влияния технологий возделывания сельскохозяйственных культур и почвы, как саморазвивающейся системы, на содержание гумуса // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 6. Т. 35. С. 44–49. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10608.

14. Carbon fluxes and budgets of intensive crop rotations in two regional climates of southwest Germany / A. Poyda, H.-D. Wizemann, J. Ingwersen, et al. // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2019. Vol. 276. P. 31–46.

15. Завалин А. А., Соколов О. А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д. Н. Прянишникова до наших дней. М.: Изд-во ВНИИА, 2016. 591 с.

16. Semenov A. M., Khvatov I. L., Olenin A. V. Determination of the Number of Ammonification Bacteria and Activity of the Ammonification Process in Soils and their Relevance for the Development of the of Soil Health Parameter // Current Investigations in Agriculture and Current Research. 2019. Vol. 6 (2). P. 715–722.

17. Influence of summer crop residues on 15N present in organic matter fractions under two lowland soils / C. S. Pollet, L. S. Silva, B. Chaves, et al. // Soil Science. 2019. Vol. 4904. E. 201802747. URL: https://www.scielo.br/j/cr/a/dx7S3dTbbxJYKR6PGKgvMdM/?lang=en (дата обращения: 28.01.2022). doi.org/10.1590/0103-8478cr20180747.

Grain productivity of beet crop rotations depending on the degree of biologization in the Central Chernozem region

A. S. Akimenko, V. I. Sviridov, T. A. Dudkina, V. G. Vavin
Federal Agricultural Kursk Research Center, ul. Karla Marksa, 70 b, Kursk, 305021, Russian Federation

Abstract. *The study assessed the dependence of grain productivity of specialized beet crop rotations and reproduction of soil fertility in them on the degree of biologization and fertilizer application. A stationary experiment was established in the Kursk region on a typical heavy loamy chernozem with a humus content of 5.2%. The experimental design included the study of the following treatments: type of crop rotation (factor A) – grain-fallow-row, green manure, alternate; fertilization level (factor B) – poor (6 tons of manure), high (12 tons of manure + N37P37K37 per 1 ha of crop rotation + straw). Peas for green manure were embedded in the soil in the flowering phase. The yield of winter wheat after bare and green manure fallows was 1.2 times higher than after the seeded fallow, and barley productivity after peas was 1.1 times higher than after corn. The highest grain productivity in the experiment was obtained in the alternate crop rotation due to the saturation by grain and leguminous crops of 60%. It was 1.2 higher than in other crop rotations. Against the poor fertilized background, the productivity of green manure, alternate and grain-fallow-row crop rotations was formed due to the consumption of humus by 28.0, 40.0 and 49.5%, respectively, which led to an increase in time in the difference in the yield of grain crops against backgrounds contrasting in fertilization. In the structure of total costs, the costs of fertilizers against the poor fertilized background amounted to 7.7% against 24.3% against the background with a combination of the double rate of manure with mineral fertilizers. Therefore, with better fertilization, the level of profitability decreased 1.3 times, but the need for costs for the fertility reproduction decreased 1.2–1.3 times. Thanks to green manure, the ecological and economic effect in the green manure crop rotation turned out to be 20% higher than in the grain-fallow-row crop rotation, with the same crop composition and almost the same yield.*

Keywords: *crop rotation; grain productivity; biologization; fertility reproduction; profit; ecological and economic effect.*

Author Details: *A. S. Akimenko, D. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: vniiz.sevooborot@mail.ru); V. I. Sviridov, D. Sc. (Agr.), senior research fellow; T. A. Dudkina, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; V. G. Vavin, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow.*

For citation: *Akimenko AS, Sviridov VI, Dudkina TA, et al. [Grain productivity of beet crop rotations depending on the degree of biologization in the Central Chernozem region]. Zemledelie. 2022;(3):12-6. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-12-16.*

Семена сахарной свёклы от компании МарибоХиллесхог

ДЛФ Бит Сид — это новое название компании на мировом рынке семян сахарной свеклы — с двумя известными датскими брендами сахарной свеклы Марибо и Хиллесхог.

Эти два бренда имеют более чем 100-летний опыт в селекции сахарной свёклы. На сегодняшний день они представлены в 35 странах мира.

ДЛФ Бит Сид была основана 1 октября 2017 года. Штаб-квартира и семенной завод базируются на острове Лолланд в Дании, где трудятся 350 сотрудников, занимающихся производством семян сахарной свеклы, с селекционными и семеноводческими площадками в Дании, Швеции, Италии, Франции и США. Компания является стратегическим бизнес-подразделением глобальной семеноводческой группы компаний ДЛФ, со штаб-квартирой в Дании и 2000 сотрудниками в 20 странах мира.

Научно-исследовательская деятельность по семенам сахарной свеклы сконцентрирована в Ландскроне, на юге Швеции. Размножение семян происходит в основном в Италии и Франции.

Коммерческая деятельность в России представлена дочерней компанией ООО «МарибоХиллесхог».

Сегодня компания «МарибоХиллесхог» предлагает российским сельхозпроизводителям комплексное решение: гибриды собственной генетики, направленной на повышение выхода белого сахара с гектара, в сочетании с эффективным агросервисом. Деятельность компании направлена на максимальное удовлетворение запросов свекловодов и сахарного производства в новых интенсивных гибридах сахарной свеклы, обладающих комплексной устойчивостью к заболеваниям и стрессовым факторам окружающей среды.

ДЛФ Бит Сид развивает свой портфель во всех сегментах, усиливая защиту от корневых гнилей и от новых рас церкоспороза. Благодаря работе селекционеров компании регистрируются новые гибриды, которые позволяют отвечать запросам рынка семян.

За последние 3 года Госсорткомиссия Министерства с/х РФ зарегистрировала новые гибриды сахарной свёклы **АЛАНДО, ТОРЕРО, МУСТАНГ, БРАНДОН, ХАНИ, МОТОР** брендов Марибо и Хиллесхог.

Все эти гибриды характеризуются гарантируемой продуктивностью с балансом быстрого накопления сахара, высокой технологичностью при уборке и переработке, комплексной устойчивостью к заболеванию корнеплода и листового аппарата, пластичностью во всех регионах свеклосеяния России.

В 2022 году под брендом Хиллесхог был зарегистрирован новый высокопродуктивный гибрид сахарной свеклы N-типа **МОТОР**. Гибрид подходит для ранних, средних и поздних сроков уборки, обладает высокой толерантностью к афаномицетным гнилям и цветушности, хорошей толерантностью к церкоспорозу и макрофомине, а также показывает высокую чистоту свекловичного сока.

Семена компании ДЛФ Бит Сид, поставляемые из Дании, соответствуют ГОСТ РФ и подкреплены международным сертификатом ИСТА, показатели которого значительно превышают российские параметры, обеспечивая высокую энергию и полевую всхожесть, раннее развитие растений, высокий процент одноростковости, эффективную защиту в начальных стадиях развития всходов.

Осознанный выбор гибридов сахарной свёклы брендов Марибо и Хиллесхог – фактор повышения Вашего урожая сахара!

MARIBO®

your partner in sugar beet...

HILLESHÖG®

НОВИНКА 2022

МОТОР

N-ТИП

- ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫЙ ГИБРИД
- КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА ОТ БОЛЕЗНЕЙ
- ДЛЯ ВСЕХ СРОКОВ УБОРКИ

ГИБРИДЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

www.mariboseed.com/russia

www.hilleshog.com/ru

Тел.: +7 918 637 35 53

doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-19-23
УДК 631.5:631.6:911.2

Изменение свойств дерново-подзолистой почвы в зависимости от осушаемых агроландшафтов при возделывании клеверо-тимофеечной травосмеси

М.В. РУБЛЮК, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (email: 2016vniimz-noo@list.ru)
Д.А. ИВАНОВ, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, зав. отделом
О.В. КАРАСЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Н.А. ХАРХАРДИНОВ, аспирант, младший научный сотрудник
Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017, Российская Федерация

Исследования проводили с целью изучения влияния осушаемых агроландшафтов на свойства дерново-подзолистой почвы при возделывании клеверо-тимофеечной травосмеси. Работу выполняли в стационарном полевом опыте, расположенном в пределах конечно-моренного холма в Тверской области. Схема опыта включает 2 фактора: фактор А – агромикроландшафты вершины холма, южного и северного склонов, фактор В – годы исследований (2019, 2020, 2021 гг.). Величины коэффициента фильтрации почвы находились в пределах 0,42...0,77 мм/мин. Максимальным в опыте он был в транзитном варианте южного склона (0,77 мм/мин). Увеличение скорости просачивания воды составило 0,19 мм/мин. Наибольшую в опыте влажность пахотного слоя почвы отмечали в транзитных вариантах южного склона – 79,4...79,1 % ППВ. Наименьшее количество влаги (64,1 % ППВ) содержалось в почве элювиально-транзитного варианта северного склона. Плотность пахотного слоя почвы под многолетними травами изменялась от 1,21 до 1,31 г/см^3. Максимально уплотненной в опыте была почва в транзитно-аккумулятивном варианте южного склона (1,31 г/см^3), самой рыхлой – в верхней части южного склона (1,21 г/см^3). Доля бобового компонента в клеверо-тимофеечной травосмеси составляла 26,8 %, наибольшей она была на вершине, в элювиально-аккумулятивном варианте – 36,3 %. В среднем за трехлетний период исследований максимальная в опыте урожайность сена травосмеси второго года пользования сформировалась в элювиально-аккумулятивном микроландшафте (вершина холма) – 4,95 т/га, что на 30,9 % выше, чем в среднем по опыту. Для урожайности клеверо-тимофеечной травосмеси второго года пользования установлена прямая корреляционная связь с коэффициентом фильтрации (r = 0,54) и обратная – с плотностью пахотного слоя почвы (r = -0,70).

Ключевые слова: *агроландшафт, экспозиция склона, свойства почвы, коэффициент фильтрации, плотность, клеверо-тимофеечная травосмесь, Trifolium pratense L., Phleum pretense L.*

Для цитирования: *Изменение свойств дерново-подзолистой почвы в зависимости от осушаемых агроландшафтов при возделывании клеверо-тимофеечной травосмеси / М. В. Рублюк, Д. А. Иванов, О. В. Карасева и др. // Земледелие. 2022. № 3. С. 19–23. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-19-23.*

Основной фактор дифференциации свойств почвы, эффективного применения удобрений и мелиорантов – учет природных и производственных условий отдельных агроландшафтов [1]. Исходная степень окультуренности оказывает влияние на развитие почвообразовательных процессов в залежных почвах. Зарастание почв повышает структурность, снижает содержание пылеватой фракции в пахотном слое почвы [2]. На процесс расходования влаги в почве, изменение коэффициента водопотребления ее плотность и твердость, воздействуют предшествующие культуры [3, 4]. Введение в севооборот сидеральных паров повышает коэффициент структурности почвы под последующей культурой, снижает твердость почвы и увеличивает общую ее пористость [5]. Агрофизические показатели почвы во многом зависят от способа ее обработки [6]. Безотвальное рыхление может обеспечить плотность почвы близкую к оптимальной [7, 8], содержание продуктивной влаги после вспашки выше, чем после дискования [9].

Агрофизические свойства почвы изменяются и в зависимости от возделываемых культур [10]. Многолетние бобово-злаковые травосмеси повышают структурность почвы и увеличивают содержание в ней органического вещества. Продуктивность посевов кормовых культур зависит от видового состава травосмесей [11], природных условий среды, агротехнологий [12, 13], обеспеченности элементами питания [14, 15]. Добавление бобового компонента в смеси кормовых культур приводит к повышению доступности влаги и элементов питания, а также их урожайности [16]. При этом возделывание клевера на окультуренных почвах возможно и без применения минеральных удобрений [17, 18]. Влагообеспеченность растений, расположенных на склонах, зависит не только от количества и временного распределения осадков на протяжении вегетационного периода, но и от агрофизических показателей почвы [19]. Увеличение влажности почвы иногда приводит к существенному снижению урожайности трав 1, 3 года пользования [20]. Сбор зеленой массы клевера коррелирует со степенью увлажнения и кислотностью почвы, известно также о несущественном влиянии содержания подвижного фосфора на продуктивность культуры [21, 22]. Влияние агрофизических и водно-физических свойств почв осушаемых агроландшафтов Нечерноземья на продуктивность и другие проявления жизнедеятельности культурных растений изучено недостаточно для использования имеющихся знаний на практике. Актуальность наших исследований заключается в том, что их результаты дают возможность выявить изменения агрофизических свойств почвы в зависимости от условий агромикроландшафтов (АМЛ) и условий вегетационного периода, что служит основополагающим фактором при выборе типов севооборотов, сроков и способов посева сельскохозяйственных культур.

1. Агрометеорологические условия вегетационных периодов за 2019–2021 гг.

Год	Май		Июнь		Июль		Август		Сумма
	температура								
	средняя, °С	% от нормы	средняя, °С	% от нормы	средняя, °С	% от нормы	средняя, °С	% от нормы	температур >10 °С
2019	14,6	+2,8	18,0	+1,7	15,6	-1,5	15,3	-0,5	2214
2020	10,5	-1,3	18,6	+2,2	17,6	-0,2	16,5	+0,7	2094
2021	13,3	+1,5	19,8	+3,4	21,3	+3,5	17,9	+2,1	2202
	осадки								
	сумма, мм	% от нормы	сумма, мм	% от нормы	сумма, мм	% от нормы	сумма, мм	% от нормы	за вегетацию, мм
2019	35	66	38	51	51	54	144	216	310
2020	101	191	85	112	163	173	85	125	475
2021	37	54	103	140	23	25	60	88	212

Цель исследований – изучить изменения свойств дерново-подзолистой почвы в зависимости от условий осушаемых агромикроландшафтов при возделывании клеверо-тимофеечной травосмеси *(Trifolium pratense L., Phleum pretense L.)*.

Влияние условий агромикроландшафтов на дерново-подзолистую остаточно-карбонатную глеевую почву изучали на опытном поле ВНИИМЗ в Тверской области в 2019–2021 гг. Почва осушена гончарным дренажем, дрены располагались на глубине 1 м.

Исследования проводили на злаково-бобовых травостоях 2-го года пользования, возделываемых в зернотравяном севообороте по экстенсивной технологии. Чередование культур: пшеница яровая – рапс – озимая рожь – овес + травы – травы 1 г.п. – травы 2 г.п. Схема опыта предусматривала изучение двух факторов: фактор А – агромикроландшафт (Т-Аю – транзитно-аккумулятивный южного склона; Тю – транзитный южного склона; Э-Тю – элювиально-транзитный южного склона; Э-А – элювиально-аккумулятивный (вершина холма); Э-Тс – элювиально-транзитный северного склона; Тс – транзитный северного склона; Т-Ас – транзитно-аккумулятивный северного склона), фактор В – годы исследований. В течение эксперимента определяли водно-физические характеристики почвы под посевами клеверо-тимофеечной травосмеси в различных агромикроландшафтах (фактор А), которые были расположены на вершине, южном и северном склонах, а также в межхолмных депрессиях (в нижних частях склонов). Длина южного склона от вершины до нижней части 400 м, северного – 440 м. Превышение самой высокой точки участка над нижней составляет 14,5 м.

Почвообразующие породы на территории опытного участка сформированы на двучленных отложениях. В южной части тестового полигона (межхолмная депрессия на юге, южный склон, вершина холма) почва по гранулометрическому составу супесчаная, в северной части (склон северной экспозиции, межхолмная депрессия на севере) – легкосуглинистая. Морена в южных местоположениях находится ниже 1 м, в северных – 0,52...0,62 м. Кое-где она встречается на поверхности (северная депрессия).

Водопроницаемость почвогрунта проверяли методом заливных квадратов в 2-х кратной повторности, влажность почвенных образцов – термостатно-весовым методом. Плотность почвы определяли буровым методом (*Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы и грунтов. Изд. 2-е. Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1973.*). Статобработку данных проводили методами корреляционного и двухфакторного дисперсионного анализов с использованием компьютерных программ – STATGRAFICS и EXCEL 2007.

В 2019–2021 гг. вегетационные периоды характеризовались удовлетворительными агрометеорологическими условиями (табл. 1). В начале роста и развития растений (май) температура воздуха в 2019 г. и 2021 г. превышала норму на 2,8 % и 1,5 % соответственно, а в 2020 г. была ниже среднемноголетней на 1,3 %. Сумма осадков составляла 66, 54 и 191 % от нормы. В июне температура воздуха превышала среднемноголетнюю на 1,7...3,4 %. Осадков в 2019 г. выпало 51 % от нормы, в 2020 и 2021 гг. – 112 и 140 % соответственно. В июле 2019 и 2020 гг. наблюдали понижение температуры воздуха соответственно на 1,5 и 0,2 %, в 2021 г. – повышение на 3,5 %. Количество осадков составляло 51, 163 и 23 мм (54, 173 и 25 % от нормы).

За период вегетации в 2019, 2021 и 2020 гг. сумма температур составила 2214, 2202 и 2094 °С соответственно, сумма осадков – 310, 212 и 475 мм. По гидротермическому коэффициенту (ГТК) 2019 г. был средне сухим (ГТК – 1,33), 2020 г. – избыточно влажным (ГТК – 2,26), 2021 г. – засушливым (ГТК – 0,96).

Скорость просачивания воды за 5 ч в 2019 г. составляла 0,36... 1,36 мм/мин (см. рисунок). Следует отметить значительную пестроту водопроницаемости почв в пределах конкретных агромикроландшафтов. Это объясняется сильной пестротой почвенно-литологических условий в пределах агроландшафта конечно-

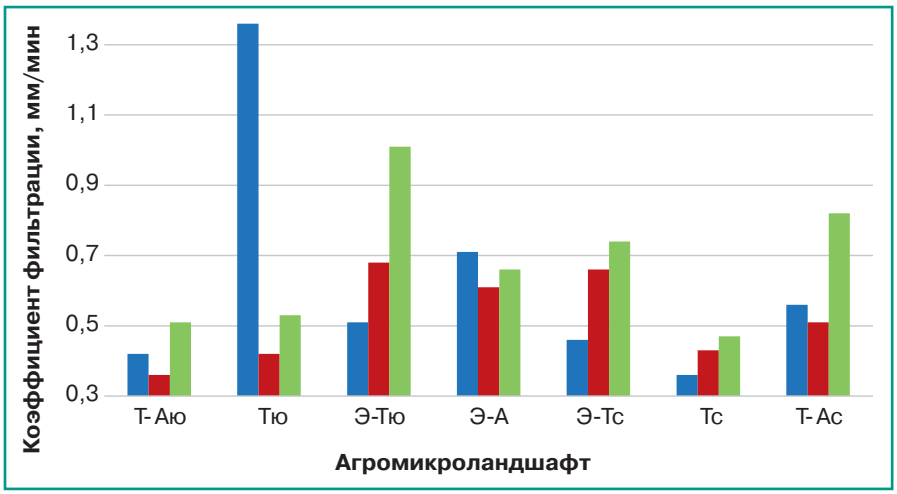

Рисунок. *Изменение коэффициента фильтрации в различных осушаемых агромикроландшафтах, мм/мин (Т-Аю – транзитно-аккумулятивный южного склона; Тю – транзитный южного склона; Э-Тю – элювиально-транзитный южного склона; Э-А – элювиально-аккумулятивный (вершина холма); Э-Тс – элювиально-транзитный северного склона; Тс – транзитный северного склона; Т-Ас – транзитно-аккумулятивный северного склона): ■ – 2019 г.; ■ – 2020 г.; ■ – 2021 г.*

2. Изменение агрофизических свойств пахотного слоя почвы (0…20 см) под бобово-злаковой травосмесью в различных осушаемых агромикроландшафтах (2019–2021 гг.)

Вариант опыта (АМЛ, фактор А)	Влажность, % от ППВ				Плотность, г/см^3			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее по фактору А	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее по фактору А
Т-Аю	59,1	90,4	88,8	79,4	1,28	1,42	1,22	1,31
Тю	60,0	93,1	84,3	79,1	1,21	1,40	1,13	1,26
Э-Тю	62,6	72,9	60,6	65,4	1,21	1,23	1,19	1,21
Э-А	73,1	87,8	65,5	75,5	1,21	1,40	1,14	1,25
Э-Тс	59,3	76,9	76,0	64,1	1,25	1,37	1,16	1,26
Тс	51,7	85,9	76,4	71,3	1,23	1,40	1,14	1,26
Т-Ас	48,7	89,6	61,4	66,9	1,24	1,42	1,19	1,28
Среднее по фактору В	59,2	85,3	70,5	71,7	1,23	1,38	1,17	1,26
	$НСР_{05}$ для частных различий =18,8, для фактора А =10,8, для фактора В =7,1				$НСР_{05}$ для частных различий = 0,11 для фактора А = $F_ф < F_т$, для фактора В=0,04			

моренной гряды. Поля, занятые травами 2 г.п., размещали в пространстве в соответствие с ротационной таблицей и даже в пределах одного агромикроландшафта почвенные условия менялись, что приводило к изменению показателей водопроницаемости. Максимальная в опыте пространственная вариабельность почвенных условий, а, следовательно, и величин коэффициентов фильтрации, отмечена в местоположениях южного склона. В среднем по агроландшафту конечно-моренной гряды в 2019 г. он составил 0,63 мм/мин, максимальным в опыте коэффициент фильтрации был в средней части склона южной экспозиции – на 0,73 мм/мин выше, минимальным в аналогичном варианте склона северной экспозиции (Тс) – на 0,27 мм/мин ниже. В 2020 г. коэффициент фильтрации изменялся от 0,36 до 0,68 мм/мин. Его величина максимально возрастала в элювиально-транзитном варианте на южном склоне (Э-Тю) – на 0,16 мм/мин выше средней. В нижней части южного склона (в Т-Аю) коэффициент водопроницаемости почвы был минимальным в опыте – 0,36 мм/мин. Максимальную в опыте водопроницаемость почвы в 2021 г. наблюдали на южном склоне элювиально-транзитного агромикроландшафта (Э-Тю). Превышение величины этого показателя над средней составило 0,33 мм/мин. В других вариантах коэффициент фильтрации находился в пределах 0,51…0,82 мм/мин.

Таким образом, под клеверотимофеечной травосмесью в среднем за 2019–2021 гг. максимальная в опыте скорость просачивания воды была характерна для транзитного варианта на склоне южной экспозиции (0,77 мм/мин), что выше средней на 0,19 мм/мин. Наименьший коэффициент фильтрации отмечен в транзитном АМЛ северного склона (0,42 мм/мин), где он был на 0,16 мм/мин ниже среднего по агроландшафту. Достоверных различий по водопроницаемости почвы между вариантами не выявлено. На скорость просачивания воды оказали влияние гранулометрический состав почвы и глубина залегания подстилающей породы. На легких супесчаных почвах южного склона с глубоким залеганием подстилающей породы (больше 1 м), она была самой высокой – 0,73…0,77 мм/мин.

В засушливом 2019 г. (ГТК – 1,33) влажность почвы в слое 0…20 см под травосмесью в среднем за вегетационный период находилась в пределах 48,7…73,1 % от ППВ (табл. 2). Наиболее сухой она была в транзитных вариантах северного склона. Снижение влажности почвы в Тс и Т-Ас составило соответственно 7,5 и 10,5 % ППВ. Наиболее увлажненной была почва на вершине (в элювиально-аккумулятивном варианте) – выше средней на 13,9 % ППВ. Повышение влажности почвы в верхней части агроландшафта, вероятно, объясняется тем, что влага застаивается в «блюдцах» и медленно просачивается в нижние горизонты из-за подстилающей карбонатной морены, которая располагается на глубине до 1 м. Увеличение влажности почвы от нижних частей склонов южной и северной экспозиции к вершине в 2019 г. связано еще и с тем, что на склонах вода быстрее перемещается вниз к подножью холма. Также на характер распределения влаги оказали влияние гранулометрический состав почвы (на южном склоне он супесчаный, а на северном – легкосуглинистый) и полевая влагоемкость почвы, которая у почвы на южном склоне самая низкая (17…19 %), а на северном склоне более высокая (24…26 %).

В избыточно влажном 2020 г. (ГТК – 2,26) влажность пахотного слоя почвы, выраженная в долях от ППВ, была высокой во всех вариантах опыта и находилась в пределах оптимальных значений для вегетации трав (80…90 % ППВ), что положительно сказалось на формировании урожайности травосмеси. Самой высокой величина этого показателя была на слоне южной экспозиции. Рост, по сравнению со средней влажностью почвы по агроландшафту, в транзитно-аккумулятивном и транзитном вариантах составил 5,1 и 7,8 % ППВ соответственно. В сухом и жарком 2021 г. влажность корнеобитаемого слоя почвы находилась в пределах от 60,6 до 88,8 % ППВ. Наибольший дефицит

3. Изменение состава бобового компонента и урожайности сена бобово-злаковой травосмеси в различных осушаемых агромикроландшафтах (2019–2021 гг.)

Вариант опыта (АМЛ, фактор А)	Доля бобового компонента, %				Урожайность сена, т/га			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее по фактору А	2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя по фактору А
Т-Аю	47,2	34,0	9,65	20,4	0,40	3,67	4,12	2,73
Тю	14,6	3,90	6,58	8,35	1,18	4,95	4,91	3,58
Э-Тю	25,2	17,8	23,1	22,1	1,41	5,73	5,54	4,23
Э-А	42,7	14,3	53,9	36,3	1,84	6,40	6,60	4,95
Э-Тс	47,5	10,3	43,1	33,7	0,95	4,10	5,55	3,53
Тс	41,8	30,9	31,5	34,8	2,11	4,39	4,30	3,60
Т-Ас	41,8	29,2	25,8	32,3	1,67	5,01	4,65	3,77
Среднее по фактору В	37,2	15,7	27,4	26,8	1,37	4,89	5,09	3,78
	$НСР_{05}$ для частных различий = 23,8, для фактора А =13,8, для фактора В =9,0				$НСР_{05}$ для частных различий = 1,33 для фактора А = 0,77, для фактора В =0,50			

влаги наблюдался на элювиально-транзитном варианте южного склона, где величина этого показателя была ниже средней по опыту в среднем на 9,9 % ППВ.

Таким образом, максимальную в опыте влажность корнеобитаемого слоя почвы под травосмесью второго года использования отмечали на южном склоне в Т-Аю и Тю – 79,4 и 79,1 % ППВ соответственно. Здесь наблюдали максимальное заполнение пор влагой вследствие того, что порозность легких почв не велика. Наименьшее количество влаги содержалось в почве элювиально-транзитного АМЛ северного склона – 64,1 % ППВ.

В засушливые годы (2019 и 2021 гг.) плотность почвы уменьшалась и в среднем по опыту составила 1,23 и 1,17 г/см^3 соответственно (см. табл. 2). В избыточно влажном 2020 г. она была наибольшей и составила в среднем по опыту 1,38 г/см^3. Самую высокую величину этого показателя наблюдали в нижних частях склонов (в Т-Аю и Т-Ас) – 1,42 г/см^3.

В среднем за 2019–2021 гг. плотность пахотного слоя почвы под многолетними травами различалась между вариантами на 0,01...0,05 г/см^3. Наиболее рыхлой она была в элювиально-транзитном АМЛ южного склона (1,21 г/см^3). Максимальной величина этого показателя была в нижней части склона южной экспозиции (в Т-Аю) – 1,31 г/см^3.

Содержание бобовых в травосмеси в 2019 г. составило 37,2%, в 2021 г.– 27,4, в и 2020 гг. – 15,7 %. Наименьшая их доля в изучаемой травосмеси в 2020 г. обусловлена влиянием засушливые условия вегетационного периода предыдущего 2019 г., что привело к выпадению клевера. Снижение этого показателя в 2020 г., по сравнению с 2019 г., составило 7,4...37,0 % (табл. 3).

В среднем за 3 года исследований доля бобового компонента в клеверо-тимофеечной травосмеси составила 26,8 %. Больше всего растений клевера в смеси отмечали на вершине в элювиально-аккумулятивном варианте – 36,3 %, наименьший процент (8,35 %) – на южном склоне в транзитном варианте.

Продуктивность травосмеси в порядке убывания в 2021 г. составила 5,09 т/га, в 2020 – 4,89 т/га, в и 2019 гг. – 1,37 т/га сена. Наиболее низкая урожайность отмечена в засушливом 2019 г. (0,4...2,11 т/га сена). Засушливые условия 2021 г. не привели к достоверному снижению продуктивности травосмеси. Выпадение обильных осадков в июне (140 % от нормы) способствовало формированию высокой продуктивности трав – 4,12...6,60 т/га сена.

В среднем за три исследуемых года урожайность сена травосмеси 2 г. пользования варьировала от 2,73 до 4,95 т/га. Максимальной в опыте (4,95 т/га) она была в элювиально-аккумулятивном варианте (вершина холма) и превышала величину этого показателя, по сравнению со средней по опыту, на 30,9 %. В нижней части южного склона (в Т-Аю) урожайность сена была наименьшей (на 27,7 % средней по опыту).

В результате статистической обработки данных установлено, что на продуктивность бобово-злаковой травосмеси второго года пользования в большей степени влияли условия вегетационного периода (фактор В – 69,8 %). Доля фактора А (агромикроландшафты) составила 9,5 %. Для урожайности травосмеси 2 г. пользования установлена прямая корреляционная связь с коэффициентом фильтрации (r=0,54) и составом бобового компонента в травосмеси (r=0,39), а также обратная с плотностью пахотного слоя почвы (r = -0,70).

Местонахождение на агроландшафте оказывает влияние на агрофизические свойства почвы и продуктивность многолетних трав. Ее водопроницаемость варьирует в пределах 0,42...0,77 мм/мин. Максимальная в опыте величина этого показателя отмечена в транзитном варианте южного склона (0,77 мм/мин). Увеличение скорости просачивания воды, по сравнению со средним, достигало 0,19 мм/мин.

Наибольшая влажность пахотного слоя почвы в опыте отмечена в транзитных вариантах южного склона (в Т-Аю и Тю) – 79,4 и 79,1 % ППВ соответственно, наименьшая (64,1 % ППВ) – в почве элювиально-транзитного варианта северного склона.

Плотность пахотного слоя почвы под многолетними травами изменялась в пределах от 1,21 до 1,31 г/см^3. Наиболее уплотненной была почва в транзитно-аккумулятивном варианте южного склона (1,31 г/см^3), самой рыхлой – в элювиально-транзитном АМЛ южного склона (1,21 г/см^3).

Доля бобового компонента в клеверо-тимофеечной травосмеси составило 26,8 %. Наибольшее количество растений клевера в смеси отмечали на вершине в элювиально-аккумулятивном варианте – 36,3 %.

В среднем за годы исследований максимальная в опыте урожайность сена травосмеси второго года пользования сформировалась в элювиально-аккумулятивном микроландшафте (вершина холма) – 4,95 т/га, что на 30,9 % выше, чем в среднем по опыту. Для травосмеси 2 года пользования установлена прямая корреляционная связь урожайности с коэффициентом фильтрации (r=0,54) и обратная – с плотностью пахотного слоя почвы (r = -0,70).

Литература.

1. Рублюк М.В., Иванов Д.А., Карасева О.В. Влияние ландшафтных условий на свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность клеверо-тимофеечной травосмеси // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 10. Т. 54. С. 85–90. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11013.

2. Влияние степени исходного окультуривания на агрофизические показатели залежных дерново-подзолистых почв / А.В. Леднев, А.В. Дмитриев, Н.А. Пегова и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. №6 (67). С. 102–108. doi: 10. 30766/2072-9081.2018.67.6.102-108.

3. Изменение агрофизических свойств почвы и урожайности озимой пшеницы в зависимости от предшественников / В.И. Турусов, О.А. Богатых, Н.В. Дронова и др. // Земледелие. 2021. №2. С. 10–13. doi: 10. 24411/0044-3913-2021-10202.

4. Изменение запасов влаги в выщелоченном черноземе в невегетационный период в зависимости от предшественника и основной обработки / В. И. Усенко, А. А. Гаркуша, Т. А. Литвинцева и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 9-13.

5.Турусов В.И., Дронова Н.В., Балюнова Е.А. Влияние предшественников на изменение агрофизических свойств почвы в посевах озимой пшеницы// Плодородие. 2021. №4 (121). С. 36–39. doi: 10. 25680/519948603.2021.12111.

6. Минимизация основной обработки почвы под горох в Курской области / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. В. Шумаков и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 11. С. 26-31.

7. Сабитов М. М., Захаров С. А. Ресурсосберегающие модели технологий возделывания яровой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 53-58.

8. Богомолова Ю.А., Саков А.П., Ивенин А.В. Влияние обработки почвы и удобрений на изменения ее агрофизических свойств и урожайность сои звене зернового севооборота // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. №3 (64). С. 62–69. doi: 10. 30766/2072-9081.2018.64.3.62-69.

9. Девтерева Н.И., Благополучная О.А. Влияние различных приемов основной обработки почвы на продуктивность культур и агрофизические свойства слитых черноземов // Земледелие. 2019. №3. С. 31–33. doi: 10. 2441/0094-3913-2019-10308.

10. 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.

11.Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems / F. Isbell, P.R. Adler, N. Eisenhauer N., et. all. // Journal of Ecology. 2017. Vol. 105(4). P. 871–879. doi: 10.1111/1365-2745.12789.

12. Evaluation of herbage yield and nutritive value of eight forage crop species / H. Akdeniz, I. Hosafhoglu, A. Koq, et. all. // Applied ecology

and environmental research. 2019. No. 17(3). P. 5571–5581. doi: 10.15666/aeer/1703 55715581.

13. Рублюк М.В., Иванов Д.А., Карасева О.В. Влияние агроландшафтных условий на водный режим осушаемых земель Нечерноземной зоны России // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 8. Т. 32. С. 8–10. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10802.

14. Свечников А.К. Преимущества травозерновых севооборотов от продления срока использования клеверо-люцерно-тимофеечной смеси // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 6. С. 752–763. doi: 10.30766.2072-9081.2020 21.6.752-763.

15. Tilman D., Reich P.B., Isbell F. Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2012. No. 109(26). P. 10394–10397. doi: https://doi.org/10.1073/pnas.1208240109.

16. Влияние бобового компонента на урожайность смешанных посевов злаковых кормовых культур / С.М. Пакшина, С.Ф. Чесалин, В.Ф. Шаповалов и др. // Кормопроизводство. 2020. № 9. С. 12–18. doi: 10.25685/KRM 2020.9.2020.009

17. Урожайность клевера лугового в зависимости от агроклиматических условий Среднего Урала / Н.Н. Зезин, П.А. Постников, М.А. Тормозин и др. // Кормопроизводство. 2020. № 6. С. 20–24. doi: 10.25685/ p4864-8413-2516-n.

18. Акманаев Э.Д. Формирование урожайности клевера лугового в зависимости от агрометеорологических условий // Пермский аграрный вестник. 2018. № 3 (23). С. 30–34.

19. Продуктивность сельскохозяйственных культур на склоновых землях юго-восточных районов Предбайкалья / В.И. Солодун, О.В. Сметанина, А.М. Зайцев и др. // Кормопроизводство. 2018. № 4. С. 16–20. doi:10.25685/KRM. 2018.2018.12719.

20. Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. №1. С. 76–84. doi: 10.30766.2072-9081.2021.22.1.76-81.

21. Лыскова И.В., Лыскова Т.В., Попов Ф.А. Продуктивность клевера лугового на дерново-подзолистой почве при различной обеспеченности подвижным фосфором и степени кислотности // Аграрная наука Евро-Севео-Востока. 2019. Т. 20. № 4. С. 368–377. doi: 10.30766.2072-9081.2019.4.368-377.

22. The application of the soil – agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lans in the forest – steppe zone of Russia // D.S. Bulgakov, D. I. Rucnovich, E.A. Shishkonakova, et al. // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 5. № 4. P. 488–459. doi: 10.1134/S1064229318040038.

Changes in the properties of soddy-podzolic soil depending on the drained agricultural landscapes during the cultivation of clover-timothy grass mixture

M.V. Rublyuk, D.A. Ivanov, O.V. Karaseva, N.A. Kharkhardinov
Federal Research Center Dokuchaev Soil Science Institute, Pyzhevskii per., 7, str. 2b, Moskva, 119017, Russian Federation

Abstract. *We studied the effect of drained agrolandscapes on the properties of soddy-podzolic soil during the cultivation of clover-timothy grass mixture. The work was carried out in a stationary field experiment located within the terminal moraine hill in the Tver region. The experimental design includes two factors. Factor A was the agro-microlandscapes of the hilltop and the southern and northern slopes. Factor B was years of research: 2019, 2020, 2021. The values of the soil filtration coefficient were in the range of 0.42 to 0.77 mm/min. The maximum indicator was obtained in the transit variant of the southern slope (0.77 mm/min). The increase in water infiltration rate was 0.19 mm/min. The maximum moisture content of the arable layer of the soil was observed in the transit variants of the southern slope – 79.4–79.1 % of the ultimate field water capacity (UFWC). The smallest amount of moisture (64.1 % of the UFWC) was contained in the soil of the eluvial-transit variant of the northern slope. The density of the arable layer of soil under perennial grasses varied from 1.21 to 1.31 g/cm3. The soil was maximally compacted in the transit-accumulative variant of the southern slope (1.31 g/cm3); it was the loosest in the upper part of the southern slope (1.21 g/cm3). The content of the legume component in the clover-timothy grass mixture was 26.8 %, it was the greatest in the hill top in the eluvial-accumulative variant – 36.3%. On average, over a three-year study, the maximum yield of grass mixture hay of the second year of use was formed in the eluvial-accumulative microlandscape (hilltop) – 4.95 t/ha of hay, which was 30.9% higher compared to the average value for the experiment. For the yield of clover-timothy grass mixture of the second year of use, a direct correlation was established with the filtration coefficient (r = 0.54) and an inverse one – with the density of the arable soil layer (r = -0.70).*

Keywords: *agricultural landscape; slope exposure; soil properties; filtration coefficient; density; clover-timothy grass mixture; Trifolium pratense L.; Phleum pretense L.*

Author Details: *M. V. Rublyuk, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru); D. A. Ivanov, D. Sc. (Agr.), Corresponding Member of RAS, chief research fellow; O.V. Karaseva, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; N. A. Kharkhardinov, junior research fellow.*

For citation: *Rublyuk MV, Ivanov DA, Kharkhardinov NA, et al. [Changes in the properties of soddy-podzolic soil depending on the drained agricultural landscapes during the cultivation of clover-timothy grass mixture]. Zemledelie. 2022;(3):19-23. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-19-23.*

doi:10.24412/0044-3913-2022-3-23-27
УДК 631.51:631.445.25:631.81(571.12)

Валовое содержание элементов питания в темно-серой лесной почве при различных системах основной обработки*

Н. В. ПЕРФИЛЬЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
О. А. ВЬЮШИНА, научный сотрудник (e-mail: vyushina63@mail)
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Бурлаки, 2, пос. Московский, Тюменский р-н, Тюменская обл., 625501, Российская Федерация

Исследование проводили с целью изучения воздействия систем основной обработки на изменение потенциального плодородия темно-серой лесной почвы северной лесостепи Северного Зауралья. Работу выполняли в 1988–2018 гг. в длительном стационарном полевом опыте в Тюменской области. В зернопаровом севообороте (чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – зернобобовые – яровой ячмень) изучали следующие системы основной обработки: отвальная, безотвальная, комбинированная, дифференцированная, плоскорезная и поверхностная. Почва – темно-серая лесная тяжелосуглинистая. В результате 30-летнего воздействия ресурсосберегающие системы основной обработки с применением безотвальной, плоскорезной и поверхностной обработок оказывали равнозначное вспашке или более сильное влияние на запасы валовых азота (N) и фосфора (P) в слое почвы 0...40 см. Комбинированная система обработки способствовала повышению запасов валового азота, в сравнении с отвальной системой, на 32 % и фосфора – на 11,9 % (вследствие повышенного на 19,2 % его содержания в слое 20...40 см). За 6 ротаций зернопарового севооборота

**работа выполнена в рамках раздела Госзадания №121041600037-3*

по всем системам обработки, за исключением комбинированной, произошло снижение запасов валового азота на 0,47...0,87 т/га (9,8...18 %). В варианте с комбинированной системой они увеличились, в сравнении с исходными, на 0,38 т/га (7,9 %). Запасы валового фосфора снижались, в сравнении с исходными, по всем системам обработки на 0,60...1,05 т/га (14,6...25,6 %). Меньшее влияние системы основной обработки оказывали на запасы валового калия (K) в почве. За 30-летний период в слое 0...40 см они уменьшились на 1,85...3,85 т/га (7,8...16,1 %), в сравнении с исходными.

Ключевые слова: *система основной обработки почвы, валовый азот, фосфор, калий, темно-серая лесная почва.*

Для цитирования: *Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Валовое содержание элементов питания в темно-серой лесной почве при различных системах основной обработки // Земледелие. 2022. № 3. С. 23-27. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-23-27.*

Современное полеводство в Сибири и Зауралье основано преимущественно на использовании имеющегося запаса почвенного плодородия, чаще всего при дефиците элементов минерального питания. Есть данные, что при продолжительном использовании пахотных земель это приведет к устойчивому снижению продуктивности пашни, эффективного и потенциального плодородия почв [1, 2, 3].

По результатам агрохимического обследования в Сибири увеличивается площадь земель с низким содержанием гумуса, отмечается снижение содержания валовых форм элементов питания [2, 4]. В Тюменской области площадь почв с очень низким содержанием фосфора за 2016–2020 гг. увеличилась на 13,3 тыс. га, с низким на 26,9 тыс. га. Суммарная доля этих почв составила 42,1 % от общей площади обследования [5].

По мнению ряда авторов [6, 7], задача сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почвы может быть решена как через отдельные агроприемы, так и через системы земледелия в целом. Поэтому для разработки мероприятий по поддержанию (сохранению) плодородия темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье, а также для составления прогноза ее состояния на обозримую перспективу, особое значение имеет изучение закономерностей изменения показателей плодородия почвы при многолетнем использовании пашни. При этом необходимо учитывать, что количественные изменения содержания валовых форм элементов питания в результате продолжительного применения различных элементов систем земледелия, в особенности основной обработки, наиболее объективно можно оценить только в длительных стационарных полевых опытах, в сравнении с исходным состоянием [8, 9].

В связи с широким использованием в технологиях возделывания ресурсосберегающих приемов основной обработки актуально и важно установить влияние длительного воздействия систем основной обработки почвы (традиционной и с элементами минимизации) при возделывании зерновых культур на важнейший показатель потенциального плодородия – валовое содержание в почве основных элементов минерального питания.

Цель исследований – оценить длительное воздействие систем основной обработки на содержание валовых форм азота, фосфора и калия в темно-серой лесной почве Северного Зауралья.

Работу выполняли в многолетнем стационарном полевом опыте НИИСХ Северного Зауралья – филиала ТюмНЦ СО РАН (Тюменская область, Тюменский район) (57°06'39" с.ш.; 65°25'22" в.д.), высота над уровнем моря – 101 м, в течение 6 ротаций (1988–2018 гг.) зернопарового севооборота (чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – зернобобовые – яровой ячмень), развернутого во времени и в пространстве. Почва – темно-серая лесная, тяжелосуглинистая (Luvic Retic Greyzemic Phaeozem (Loamic, Aric) [10].

Мощность пахотного слоя 25...27 см, содержание гумуса – 4,2...5,0 %, pH солевой вытяжки – 6,0...6,4 ед. Сумма поглощенных оснований в пахотном слое 18,6...25,6 мг-экв. /100 г почвы.

Сравнивали следующие различающиеся по интенсивности системы обработки почвы:

отвальная – вспашка под все культуры плугом Лемкен-5-40 на глубину 20...22 см (контроль);

безотвальная – рыхление плугом со стойками СибИМЭ на 20...22 см;

комбинированная – чередование вспашки плугом Лемкен-5-40 с безотвальным рыхлением плугом со стойками СибИМЭ на 20...22 см;

дифференцированная – мелкая плоскорезная обработка культиватором Смарагд-6 на 12...14 см в пару и после озимой ржи, вспашка плугом Лемкен-5-40 на 20...22 см под зернобобовые, дискование БДТ-2,5 на 10...12 см под ячмень и после его уборки;

плоскорезная – рыхление культиватором Смарагд-6 на 12...14 см под все культуры;

поверхностная – дискование БДТ-2,5 на 10...12 см под все культуры севооборота.

Минеральные удобрения вносили нормой $N_{40}P_{40}K_{40}$ на 1 га севооборотной площади. Весной на всех фонах основной обработки после закрытия влаги и предпосевной обработки культиватором Смарагд-6 проводили посев сеялкой СЗП-3,6 с последующим прикатыванием. Солому после уборки не отчуждали, оставляя на соответствующих полях. Опыт заложен в трехкратной повторности. Размещение делянок рендомизированное, размер делянки 346 м^2 (5,5 м × 63 м), учетная площадь 100 м^2 (2 м × 50 м).

Почвенные образцы отбирали по изучаемым вариантам в 12-кратной повторности на закрепленных площадках в слоях 0...10, 10...20 и 20...40 см. По каждому варианту и горизонту готовили усредненные образцы, химический анализ которых проводили в 3-кратной повторности. При вычислении запасов валовых форм элементов питания учитывали, что плотность почвы в слое 0...20 см составляла 1,20 г/см^3, в слое 20...40 см – 1,30 г/см^3. Статистическую обработку данных выполняли по руководству О. Д. Сорокина (*Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.*), химические анализы почвы – по Е. В. Аринушкиной (*Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 486 с.*), проведение полевых опытов и обработку экспериментальных данных методом дисперсионного анализа осуществляли по Б. А. Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.; Доспехов Б. А., Васильев И. П., Туликов А. М. Практикум по земледелию / Изд. 2-е. доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1987. 387 с.*).

По метеорологическим условиям годы проведения исследования были преимущественно близкими к среднемноголетним и благоприятными. В целом за сельскохозяйственный год недостаточное выпадение осадков отмечали в 12,9 % лет, в том числе за вегетационный период – в 29 % лет. По гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова засушливые годы с недостатком осадков и повышенной обеспеченностью теплом составляли 29 %, близкие к среднемноголетним – 48 %, избыточно увлажненные с недостаточной обеспеченностью теплом – 23 %.

Важным показателем потенциального плодородия выступает валовое содержание в почве основных элементов питания, по которым можно судить о возможных предпосылках и изменениях эффективного плодородия по питательному режиму почвы. Известно, что основные запасы обще-

С нами расти легче

avgust crop protection

Долгая защита – сильная культура

реклама

Лазурит® Ультра

ГЕРБИЦИД | метрибузин, 600 г/л

Системный гербицид против основных однолетних двудольных и некоторых злаковых сорняков на картофеле, томатах, сое, кукурузе и люцерне.

Обладает широким спектром действия. Проникает в сорняки через корни и листья. Долго сохраняет чистоту посевов и посадок. Может применяться до или после всходов культуры. При дробном внесении позволяет снизить нормы расхода препарата. Выпускается в виде концентрированной и удобной в применении жидкой формуляции.

avgust.com

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

Фатальный контакт с сорняками

Нексус®

expectrum инновационные продукты

ГЕРБИЦИД

фомесафен, 240 г/л

Гербицид для борьбы с однолетними двудольными сорняками, в том числе устойчивыми к другим гербицидам, в посевах сои.

Высокоэффективен против широкого спектра сорняков, включая злостные виды: акалифу, амброзию, дурнишник, канатник. Также контролирует коммелину обыкновенную. Сдерживает несколько «волн» сорных растений. Уничтожает резистентные виды сорняков, в том числе щирицу запрокинутую.

avgust.com

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

реклама

С нами расти легче

avgust
crop protection

С нами расти легче

avgust crop protection

Легендарный победитель сорняков

реклама

Одиссей®

ГЕРБИЦИД

имазетапир, 40 г/л + имазамокс, 30 г/л

Новый системный гербицид для защиты гибридов подсолнечника, устойчивых к имидазолинонам, и сои.

Обладает широким спектром действия против однолетних злаковых и двудольных сорняков, а также заразихи. Воздействует на сорняки через корни и листья. Сохраняет чистоту посевов в течение всей вегетации. Проявляет высокую биологическую и экономическую эффективность в интенсивных технологиях.

avgust.com

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

Запасы валовых форм азота, фосфора и калия в темно-серой лесной почве в зависимости от систем основной обработки, т/га

Вариант	Азот		Фосфор		Калий	
	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см
Исходное состояние (1988 г.)	2,63	1,86	2,16	1,68	11,45	11,98
По завершению 6-й ротации севооборота (2018 г.)						
Отвальная	2,14	1,61	1,73	1,20	9,60	10,92
Безотвальная	2,18	1,40	1,58	1,33	10,08	10,92
Комбинированная	2,69	2,26	1,85	1,43	11,04	9,88
Дифференцированная	2,14	1,72	1,70	1,12	11,04	10,40
Плоскорезная	2,47	1,40	1,63	1,69	11,04	9,88
Поверхностная	2,25	1,72	1,82	1,33	10,08	9,88
$НСР_{05}$	0,18	0,21	0,11	0,08	0,58	0,52

го азота сконцентрированы в гумусе, в котором содержится около 5 % этого элемента. При этом около 1 % азота от общего содержания представлено минеральными соединениями, доступными растениям [11, 12]. При запасах общего азота в слое 0...40 см темно-серой лесной почвы опытного участка 4,0...5,0 т/га (см. табл.), запасы минерального азота составляют лишь 40...50 кг/га.

Изучаемые системы основной обработки различной степени интенсивности за период проведения исследования в течение 6 ротаций зернопарового севооборота не ухудшали состояние пахотного (0...20 см) слоя почвы по запасам валовых форм азота, в сравнении с отвальной системой. По безотвальной и дифференцированной системам обработки запасы валового азота в этом слое почвы находились на уровне контроля – 2,14...2,18 т/га, по поверхностной, плоскорезной и комбинированной обработкам отмечено увеличение запасов азота, в сравнении с отвальной, на 0,11...0,55 т/га, или на 5,1...25,7 % при более значительном увеличении в варианте с комбинированной системой обработки.

В слое почвы 20...40 см по безотвальной и плоскорезной системам обработки отмечено некоторое снижение запасов общего азота – на 0,21 т/га, или на 13,0 %, в сравнении с отвальной. По поверхностной и дифференцированной системам в этом слое почвы отмечали увеличение запасов азота на 0,11 т/га, или на 6,8 %, а по комбинированной системе с чередованием вспашки и безотвального рыхления на 20...22 см – на 0,65 т/га, или 40,4 %.

В целом по слою 0...40 см ресурсосберегающие системы основной обработки (безотвальная, дифференцированная, поверхностная и плоскорезная) не оказывали существенного влияния на запасы общего азота в темно-серой лесной почве, которые были равны или незначительно (на 1...8 %) выше, чем по отвальной. Более значительное положительное влияние на величину этого показателя оказывала комбинированная система обработки с чередованием вспашки и глубокого рыхления, что отмечали и другие исследователи [13]. Запасы валового азота по комбинированной системе обработки были выше, чем по отвальной, на 1,20 т/га, или на 32 % (рис. 1).

За 30 летний период воздействия всех систем обработки, за исключением комбинированной, произошло снижение запасов общего азота в слое 0...40 см на 0,47...0,87 т/га, или на 9,8...18,0 %, по отношению к исходным запасам до закладки опыта. По комбинированной системе обработки они незначительно возросли (на 0,38 т/га, или на 7,9 %), главным образом, вследствие увеличения в слое 20...40 см на 0,40 т/га, или на 21,5 %. То есть комбинированная система обработки способствовала сохранению потенциального плодородия почвы по этому показателю.

Фосфор считается важнейшим питательным элементом, отвечающим за энергетический баланс в биосфере и почвенной среде. При его дефиците нарушаются процессы синтеза и распада органических веществ, особенно на начальных этапах развития, снижается продуктивность растений и качество зерна [14]. Фосфор в почве не возобновляется, при всех трансформациях в процессе почвообразования его количество не увеличивается, поэтому при недостатке в почве пополнение элемента возможно только путем внесения удобрений. В пахотных почвах фосфор присутствует в основном в фосфорорганических соединениях в органическом веществе почвы, которое выступает источником его минеральных форм.

Исследователи отмечают, что при недостаточном внесении фосфорных удобрений, содержание подвижного фосфора в почвах сельскохозяйственного назначения постепенно снижается, и объясняют это тем, что потребляемый растениями фосфор отчуждается с полей, так как этот элемент в основном содержится в белковой части зерна [15].

Запасы валового фосфора (Р) в слое 0...40 см темно-серой лесной почвы составляли 3,05...3,50 т/га, уступая запасам общего азота (4,0...5,0 т/га). Продолжительное применение систем основной обработки на основе ресурсосберегающих приемов не оказывало отрицательного влияния на содержание валового фосфора в слое почвы 0...40 см. Так, содержание фосфора по безотвальной и диффе-

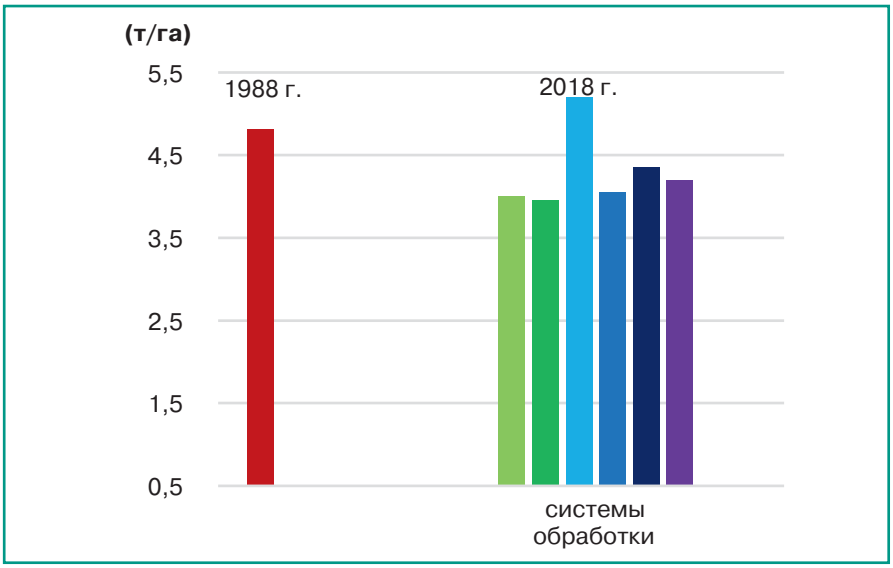

Рис. 1. Запасы валовых форм азота в слое почвы 0...40 см в зависимости от систем основной обработки почвы по завершении 6-й ротации севооборота, т/га: – отвальная; – безотвальная; – комбинированная; – дифференцированная; – поверхностная; – плоскорезная.

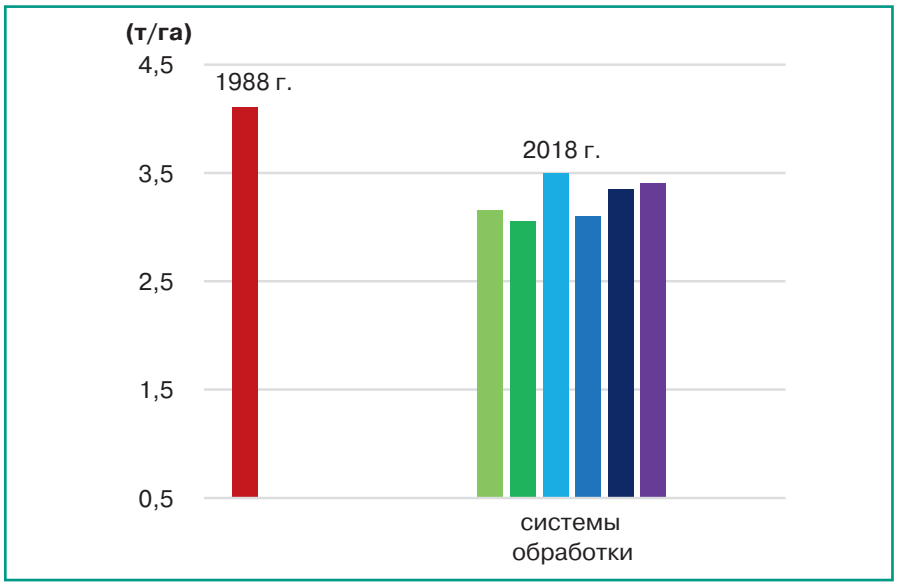

Рис. 2. *Запасы валового фосфора в слое 0...40 см в зависимости от систем основной обработки почвы по завершении 6-й ротации севооборота, т/га: — отвальная; — безотвальная; — комбинированная; — дифференцированная; — поверхностная; — плоскорезная.*

ренцированной системам находилось на уровне варианта с отвальной системой, по комбинированной, плоскорезной и поверхностной обработкам было на 0,20...0,35 т/га, или на 6,3...11,1% выше (рис. 2).

Вместе с тем, отмечены некоторые особенности влияния систем основной обработки на запасы фосфора в верхнем (0...20 см) и в нижнем (20...40 см) слоях почвы. Запасы элемента по этим слоям, в отличие от азота, имели несколько меньшую дифференциацию. При запасах фосфора в слое 0...20 см 1,58...1,85 т/га, в слое 20...40 см они составляли 1,20...1,69 т/га.

Кроме того, в слое 0...20 см в вариантах с ежегодной безотвальной обработкой на 20...22 см и плоскорезной на 12...14 см отмечали снижение запасов фосфора на 0,10...0,15 т/га, или на 5,8...8,7 %, тогда как при периодической вспашке и поверхностной обработке они находились на уровне контрольного варианта (при дифференцированной системе обработки) или превосходили его (при комбинированной и поверхностной системе обработки) на 0,09...0,12 т/га, или на 5,2...6,9 %.

Выравнивание запасов валового фосфора или несколько большее их количество в слое 0...40 см по ресурсосберегающим системам обработки, в сравнении с отвальной, обеспечивалось в основном более высокими запасами в слое 20...40 см – на 0,13...0,49 т/га, или на 10,8...40,8 % (см. табл.), что объясняется как снижением интенсивности окислительных процессов в этом слое почвы, так и меньшим выносом фосфора урожаем [16, 17, 18].

За 30-летний период по всем изучаемым системам основной обработки в слое почвы 0...40 см произошло снижение запасов валового фосфора на 0,60...1,05 т/га, или на 14,6...25,6 %, в сравнении с исходным состоянием. Наименьшее уменьшение величины этого показателя – 0,60...0,75 т/га (14,6...18,3%) отмечали по комбинированной, поверхностной и плоскорезной системам основной обработки почвы (см. рис. 2).

По валовым запасам калий стоит на первом месте среди других питательных элементов. Он входит в состав алюмосиликатов и в этом виде недоступен растениям. Переходит в доступное состояние в незначительных количествах в результате химического выветривания [9, 11].

Валовые запасы калия (К) в слое 0...40 см темно-серой лесной почвы в среднем в 5,0 раз превышают запасы азота и в 6,7 раза – фосфора. Общее содержание этого элемента по вариантам опыта в слое почвы 0...20 см составляет 0,40...0,46 % (9,6...11,0 т/га), в слое 20...40 см – 0,40...0,44 % (9,9...10,9 т/га). По слоям почвы калий распределен относительно равномерно (см. табл.).

Есть мнение, что содержание валового калия не зависит от способов и глубины обработки почвы или зависит в меньшей степени, чем азота и фосфора, что объясняется его более равномерным распределением в пахотном и подпахотном слоях почвы [9, 13].

В наших опытах снижение интенсивности и глубины основной обработки при длительном применении ресурсосберегающих систем не оказывало отрицательного воздействия на содержание калия. Его запасы в слое почвы 0...20 см при этих системах были даже на 5...15 % выше, чем по отвальной. В слое почвы 0...40 см существенных различий между вариантами не наблюдали. В целом за 30-летний период использования пашни в пятипольном севообороте при возделывании зерновых, по всем изучаемым системам основной обработки произошло снижение запасов калия в слое почвы 0...40 см на 1,85...3,85 т/га, или на 7,8...16,1 %, в сравнении с исходными запасами (рис. 3). Максимальное в опыте (3,85 т/га, или 16,1 %) уменьшение величины этого показателя отмечали по отвальной и поверхностной системам обработки, минимальное

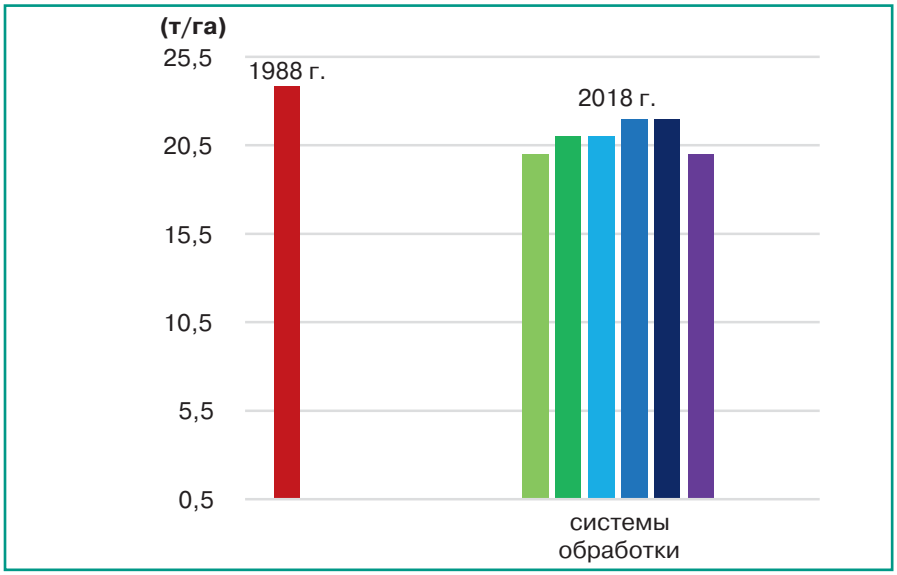

Рис. 3. *Запасы валового калия в слое почвы 0...40 см в зависимости от систем основной обработки почвы по завершении 6-й ротации севооборота, т/га: — отвальная; — безотвальная; — комбинированная; — дифференцированная; — поверхностная; — плоскорезная.*

(1,85 т/га, или 7,5 %) – по дифференцированной и плоскорезной системам. Это может быть связано с интенсивностью окислительных процессов, различиями в продуктивности по различным системам, а также отрицательным балансом между выносом элемента с урожаем и его поступлением в почву.

Таким образом, за 30-летний период использования различных систем основной обработки почвы ресурсосберегающие системы с безотвальной, плоскорезной и поверхностной обработками оказывали равнозначное отвальной системе влияние на запасы валового азота в слое почвы 0...40 см. Комбинированная система основной обработки способствовала повышению запасов валового азота, в сравнении с отвальной, на 32 %. За 6 ротаций зернопарового севооборота по всем системам основной обработки, за исключением комбинированной, произошло снижение запасов валового азота на 0,47...0,87 т/га, или 9,8...18,0 %. В варианте с комбинированной системой они увеличились на 0,38 т/га, или 7,9 %.

Продолжительное применение ресурсосберегающих систем основной обработки не оказывало отрицательного влияния, в сравнении с отвальной системой, на запасы валового фосфора, тенденция их увеличения на 6,3...11,1 % по комбинированной и плоскорезной системам обработки обеспечивалась более высокими запасами в слое 20...40 см на 10,8...40,8 %. За годы исследований по всем системам обработки запасы фосфора уменьшились, в сравнении с исходными, на 0,60...1,05 т/га (на 14,6...25,6%).

Системы основной обработки не оказывали существенного влияния на запасы валового калия в слое почвы 0...40 см. За 30-летний период их снижение по всем системам обработки составило 1,85...3,85 т/га, или 7,8...16,1 %, в сравнении с исходным содержанием.

Снижение общих запасов основных элементов минерального питания при продолжительном использовании пашни свидетельствует о недостаточном их возврате с органическими остатками и вносимыми удобрениями.

Литература

1. Гамзиков Г. П., Анкудович Ю. Н. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность полевых культур и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (к 70-летию Нарымского стационара) // Агрохимия. 2018. № 1. С. 17–29. doi: 10.7868/S0002188118010027.

2. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Реестр плодородия почв. М.: ВНИИА, 2013. 208 с.

3. Красницкий В. М. Агрохимическая и экологическая характеристики почв Западной Сибири. Омск: ОмГАУ, 2002. 144 с.

4. Динамика плодородия почвы при возделывании яровой пшеницы в севооборотах и бессменно в зависимости от системы удобрений и обработки / С. Д. Гилев, И. Н. Цымбаленко, Ю. В.Суркова и др. // Земледелие. 2017. № 4. С. 22–26.

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 и др.

6. Власенко А. Н., Власенко Н. Г. Влияние технологии No-till на содержание питательных элементов в черноземе выщелоченном лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2016. № 3. С. 17–19.

7. Экологоагрохимический мониторинг плодородия почв Воронежской области / В. И. Корчагин, Д. А. Куницин, Ю. А. Кошелев и др. // Земледелие. 2017. № 7. С. 10–15.

8. Фосфатный режим чернозема южного при длительном применении минеральных удобрений в засушливой зоне Поволжья / В. В. Пронько, М. П. Чуб, Т. М. Ярошенко и др. // Плодородие. 2018. № 4 (103). С. 33–36. doi: 10.25680/S19948603.2018.103.11.

9. Гармашов В. М. Влияние различных способов основной обработки почвы на валовое содержание азота, фосфора и калия в черноземе обыкновенном // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Коллективная монография / Под ред. В. В. Окоркова. Иваново, 2019. С. 69–73.

10. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO, Rome. 2014. 181 p.

11. Гуренев М. Н. Основы земледелия. М.: Колос, 1981. 495 с.

12. Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications / S. Dai, J. Wang, Y. Cheng, et al. // J. Integrative Agriculture. 2017. Vol. 16 (12). P. 2863–2870. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61673-3.

13. Изменение потенциального плодородия чернозема при различных способах основной обработки почвы / В. И. Турусов, А. М. Новичихин, В. М. Гармашов и др. // Земледелие. 2013. № 7. С. 12–14.

14. Ермолаев О. Т. Фосфор: трансформация в почве, поглощение растениями. Тюмень: ТГСХА, 2007. 352 с.

15. Еремин Д. И., Ахтямова А. А. Химический состав растительных остатков сельскохозяйственных культур, выращенных на различном агрофоне в лесостепной зоне Зауралья // Плодородие. 2015. Т. 85. № 4. С. 13–16.

16. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Продуктивность зернопарового севооборота и эффективность производства зерна в зависимости от систем основной обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 1. С. 18–21. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10103.

17. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Изменение питательного режима темносерой лесной почвы в посевах ячменя при различных системах основной обработки // Земледелие. 2019. № 5. С. 21–24. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10505.

18. Груздева Н. А., Еремин Д. И. Фосфорный режим пахотных серых лесных почв Северного Зауралья // Агрохимический вестник. 2017. № 5. С. 12–15.

Total nutrient content in dark grey forest soils under different tillage systems

N. V. Perfilyev, O. A. Vyushina
Research Agricultural Institute of the Northern Trans-Urals, branch of the Federal Research Center of Tyumen Scientific Center, Siberian branch, Russian Academy of Sciences, ul. Burlaki, 2, pos. Moskovskii, Tyumenskii r-n, Tyumenskaya obl., 625501, Russian Federation

Abstract. *The study determined the influence of the main tillage systems on the change in the potential fertility of the dark grey forest soil of the northern forest-steppe of the Northern Trans-Urals. The work was carried out in 1988–2018 in a long-term stationary field experiment in the Tyumen region. In the grain-fallow crop rotation (bare fallow - winter rye - spring wheat - legumes - spring barley), we examined the following tillage systems: moldboard, non-moldboard, combined, differentiated, subsurface and surface. The soil was dark gray forest heavy loamy. As a result of a 30-year impact, resource-saving tillage systems with the use of non-moldboard, subsurface and surface cultivation had an equivalent or stronger effect on the reserves of total nitrogen (N) and phosphorus (P) in the soil layer of 0–40 cm. In comparison with the moldboard system, the combined one contributed to an increase in the reserves of total nitrogen by 32% and phosphorus – by 11.9% (due to its content increased by 19.2% in a layer of 20–40 cm). For 6 rotations of the grain-fallow crop rotation for all tillage systems, with the exception of combined one, there was a decrease in total nitrogen reserves by 0.47–0.87 t/ha (9.8–18%). Under the combined system, it increased by 0.38 t/ha (7.9%) compared to the initial values. The reserves of total phosphorus decreased, in comparison with the initial ones, by 0.60–1.05 t/ha (14.6–25.6%) for all treatment systems. The main tillage system had a lesser impact on the reserves of total potassium in the soil. Over a 30-year period in the layer of 0–40 cm, they decreased by 1.85–3.85 t/ha (7.8–16.1%), in comparison with the initial values.*

Keywords: *tillage system; total nitrogen; phosphorus; potassium; dark grey forest soil.*

Author Details: *N. V. Perfilyev, D. Sc. (Agr.), chief research fellow; O. A. Vyushina research fellow (e-mail: vyushina63@mail).*

For citation: *Perfilyev NV, Vyushina OA [Total nutrient content in dark grey forest soils under different tillage systems]. Zemledelie. 2022;(3)23-7: Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-23-27.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-28-31
УДК 626.8:631.41

Влияние нового органо-минерального удобрения на агрохимическое состояние дерново-подзолистой глееватой почвы

П. А. КОТЯК, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (e-mail: p.kotyak@yarcx.ru)
Е. В. ЧЕБЫКИНА, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой
М. Ю. ИВАНОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
А. Н. ВОРОНИН, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Тутаевское ш., 58, Ярославль, 150999, Российская Федерация

Исследования проводили с целью оценки эффективности нового органо-минерального удобрения отдельно и в сочетании с минеральными удобрениями. Работу выполняли в 2017–2019 гг. в условиях Ярославского региона на дерново-подзолистой глееватой среднесуглинистой почве. Схема опыта предусматривала следующие варианты: без удобрений; использованная минеральная вата Izovol Agro Universal; органо-минеральный субстрат; обеззараженный куриный помет; органо-минеральный субстрат + NPK; NPK. Исходное содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91) в почве пахотного слоя – 2,86 %, подвижных фосфора и калия (ГОСТ 54650-2011) – 286, 1 и 143 мг/кг почвы соответственно, гидролитическая кислотность – 2,07 мг-экв./100 г почвы. Гидротермический коэффициент в годы исследований был равен 0,9...1,4. По результатам корреляционно-регрессионного анализа (при $p \leq 0,05$ %) общая продуктивность тесно связана с содержанием органического вещества ($r = 0,78$), подвижных форм фосфора ($r = 0,78$); несколько слабее – с содержанием подвижных форм калия ($r = 0,69$), обменной кислотностью ($r = 0,68$) и суммой обменных оснований ($r = 0,51$). Внесение нового органо-минерального субстрата, состоящего из подготовленного куриного помета и вегетационных матов, использованных в тепличном производстве, в дерново-подзолистую почву в сочетании с полной нормой минеральных удобрений было лучшим вариантом в опыте. Оно способствует улучшению агрохимического состояния: содержание органического вещества увеличивается на 0,20 %, обменная кислотность – до 5,64 ед., сумма поглощенных оснований – на 0,85 мг-экв./100 г почвы, содержание подвижного фосфора – на 41,73 мг/кг, подвижного калия – на 19,45 мг/кг почвы. Одновременно продуктивность сельскохозяйственных культур увеличилась на 49,04 %. При указанной системе удобрений отмечали высокую выручку от реализации продукции (74 990,20 руб./га) и условный чистый доход с 1 га (55 973,75 руб./га).

Ключевые слова: *удобрения, дерново-подзолистая глееватая почва, агрохимическое состояние, органо-минеральный субстрат, урожайность полевых культур.*

Для цитирования: *Влияние нового органо-минерального удобрения на агрохимическое состояние дерново-подзолистой глееватой почвы / П. А. Котяк, Е. В. Чебыкина, М. Ю. Иванова и др. // Земледелие. 2022. № 3. С. 28–31. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-28-31.*

Сельское хозяйство Ярославской области характеризуется активным развитием птицеводческих и тепличных комплексов. Рост производства продукции в этих отраслях приводит к накоплению таких отходов, как птичий помет и отработанные минераловатные субстраты для тепличного растениеводства. Их считают опасными для окружающей среды и требующими особого внимания при утилизации. Одним из решений этой проблемы может стать переработка использованных вегетационных матов тепличного производства и птичьего помета в экологически безопасный гранулированный органоминеральный субстрат, который обладает высокими физико-химическими и питательными свойствами.

Вопросами утилизации и переработки отходов сельскохозяйственного производства занимаются уже давно, но вопросы оббезараживания и возможного дальнейшего использования на сегодняшний день не решены, особенно, в отношении отработанного тепличного субстрата. В ходе анализа научных источников в российской и зарубежной литературе мы не обнаружили данных по превращению отработанного тепличного субстрата в удобрения.

Сегодня использованные вегетационные маты просто складируют, что представляет угрозу для окружающей среды. Хотя, например, в Европе заводы принимают субстрат обратно, переплавляют при температуре 1500 °С и включают в цикл производства [1].

Куриный помёт – ценное концентрированное быстродействующее органическое удобрение, которое содержит все основные питательные вещества, необходимые растениям. С другой стороны, это опасный загрязнитель окружающей среды. Он может служить средой для развития патогенных микроорганизмов и гельминтов, концентрированные стоки поступают в поверхностные водоемы и грунтовые воды, скопления разлагающегося помета связаны с эмиссией в воздушную среду оксидов и диоксидов азота, углерода, метана и других токсичных веществ [2].

На сегодняшний день наиболее распространены такие варианты переработки птичьего помета, как компостирование (с торфом, опилками, соломой, обработка химикатами), сушка и др. Однако они обладают рядом недостатков. Например, при химической обработке птичьего помета в почву могут попадать вещества, обладающие токсичными свойствами.

Совместное компостирование отходов тепличных комбинатов и птицеводческих комплексов позволяет получать органо-минеральный субстрат, который может быть использован в качестве комплексного удобрения, создающего благоприятный водно-воздушный режим и обеспечивающего культурные растения питательными веществами.

В регионе значительная часть пахотных земель представлена дерново-подзолистыми почвами, основные характеристики которых маломощный гумусовый горизонт, кислая реакция среды и слабая окультуренность, что негативно сказывается на урожайности полевых культур. Первостепенное влияние на повышение плодородия этих почв оказывает улучшение их качественного состояния путем применения удобрений. Агрохимические показатели почвы во многом определяют состояние ее окультуренности, а также оказывают непосредственное влияние на рост и развитие растений.

Применение удобрений способствует значительному увеличению содержания органического вещества [3, 4]. По мере роста содержания подвижных фосфатов в почве и повышения степени их подвижности до определенного уровня происходит увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным условиям [5, 6]. Калий влияет на устойчивость растений к засухе и комплексу неблагоприятных факторов, принимает участие в формировании качественных и количественных показателей урожая

полевых растений [7]. Большое значение имеет такой агрохимический показатель плодородия, как кислотность почвы, повышение ее уровня лимитирует урожайность и приводит к ухудшению качества продукции сельскохозяйственных культур [8]. Важный критерий оценки состояния почвы – содержание поглощенных оснований [9]. Оптимальная сумма обменных оснований в пахотном (0...20 см) слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы составляет 8...12 мг-экв./100 г почвы, а степень насыщенности почвы основаниями – 80...90 %.

Цель исследований – изучить влияние нового органо-минерального удобрения (отдельно и в сочетании с внесением минеральных удобрений) на агрохимическое состояние дерново-подзолистой глееватой почвы.

Работу проводили в Ярославской государственной сельскохозяйственной академии в 3-х факторном полевом стационарном эксперименте в 2017–2019 гг. Опыт закладывали методом расщепленных делянок с рендомизированным размещением вариантов в повторениях в трехкратной повторности. Схема опыта предусматривала следующие варианты: без удобрений (F0); использованная минеральная вата Izovol Agro Universal (MW); органо-минеральный субстрат на основе использованной минеральной ваты и куриного помета (S); обеззараженный куриный помет (CHD); органо-минеральный субстрат + NPK (SNPK); NPK (NPK). Минеральные удобрения вносили в виде мочевины, азофоски (NPK 16:16:16) и хлористого калия в расчётных дозах на планируемую прибавку (100 %) урожая культур: в 2017 г. – $N_{80}P_{80}K_{80}$, в 2018 г. – $N_{120}P_{20}K_{100}$, в 2019 г. – $N_{105}P_{15}K_{25}$.

На первом этапе исследований были проведены лабораторные анализы птичьего (куриного) помета и отработанных вегетационных матов с целью определения возможности синтеза органо-минерального субстрата.

Для проведения исследований от ООО «Тепличный комбинат Ярославский» были получены, использованные вегетационные маты, произведенные Izovol Agro Universal из экологически чистой минеральной ваты на основе базальтовых горных пород. Химический состав сырья для вегетационных матов: SiO_2 – 45...65 %; Al_2O_3 – 10...20 %; CaO – 5...15 %; MgO – 5...10 %; Fe_2O_3 + FeO – 10...15 %; Na_2O + K_2O – 1...3 % [1]. Птичий (куриный) помёт поступил с птицефабрики после сушки и обеззараживания.

Фоны питания, предполагающие заделку куриного помета, отработанных вегетационных матов и органо-минерального субстрата были сформированы путем их внесения под основную обработку весной 2017 г. Нормы внесения минеральной ваты составили 2,1 ц/га, куриный помет – 41 ц/га.

Исследования проводили на фоне двух систем основной обработки почвы – ежегодная отвальная вспашка на 20...22 см с предварительным дискованием или лущением на 8...10 см (MP) и ежегодная однократная поверхностная обработка на 6...8 см, (ST), а также двух вариантов защиты растений – без гербицида (H0) и с гербицидом (WH). Для расчетов использовали усредненные по системам основной обработки почвы и защиты растений данные.

Технология – рекомендованная для региона. Чередование культур по годам было следующим: 2017 г. – вико-овсяная смесь на зелёный корм (овёс яровой Кречет, вика посевная Ярославская 136), 2018 г. – пшеница яровая (Дарья), 2019 г. – рапс яровой (Вираж).

Почва опытного участка дерново-подзолистая глееватая среднесуглинистая на карбонатной морене. Степень обеспеченности почвы пахотного горизонта органическим веществом перед закладкой опыта находилась на повышенном уровне – 2,86 %, реакция почвенного раствора слабокислая ($pH_{сол}$ – 5,5 ед.), по гидролитической кислотности – нейтральная и близкая к нейтральной. Сумма поглощенных оснований в почве опытного участка находилась на среднем уровне (10,85 мг-экв./100 г почвы), что связано с выщелачиванием значительного количества оснований в условиях переувлажнения. Степень обеспеченности подвижным калием – 121,72 мг/кг почвы, фосфором – от 211,97 до 253,70 мг/кг почвы.

Агрометеорологические условия складывались в целом благоприятно. В 2017 г. температура воздуха в мае, июне и июле была меньше среднемноголетней на 5,3; 2,9 и 1,6 °С соответственно. Июнь и особенно июль были очень дождливыми – 96 и 99 мм против 68 и 60 мм в норме. В августе выпало всего 18 мм осадков. Погодные условия 2018 г. характеризовались повышенными температурами при наибольших значениях в июне и июле – 18,0 и 18,5 °С соответственно. Сумма осадков была меньше нормы в течение всего вегетационного периода, за исключением июля (128 % нормы). В 2019 г. в начале вегетации отмечали некоторое превышение температуры над среднегодовой с максимумом в июне – 18,0 °С. Сумма осадков была ниже нормы практически в течение всей вегетации, за исключением июля (177 % нормы). Гидротермический коэффициент в годы исследований находился на уровне 0,9...1,4, при средней величине этого показателя – 1,4...1,6.

Для оценки агрохимического состояния почвы образцы почвы отбирали во всех вариантах опыта из пахотного 0...20 см слоя в конце вегетации культур. Содержание органического вещества определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 54650-2011), обменную кислотность (pH_{KCl}) – по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), сумму поглощённых оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-2020).

В отработанных вегетационных матах и курином помете определяли содержание общего азота – по методу Кьельдаля (ГОСТ 26715-85), общего фосфора – фотометрическим методом (ГОСТ 26717-85), общего калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 26718-85). Наличие тяжелых металлов (медь, свинец, цинк, никель, хром и кадмий) в отходах оценивали атомно-абсорбционным методом (ГОСТ Р 53218-2008).

Учет урожайности полевых культур осуществляли сплошным методом (поделяночно) с пересчётом на абсолютно чистоту и стандартную влажность (зерна 14 % и зелёной массы – 60 %). Статистическую обработку результатов исследования проводили методом дисперсионного анализа с использованием программы DISANT.

Экономическую оценку проводили по средней за 3 года урожайности культур.

По результатам химико-аналитического анализа в неиспользованных вегетационных матах макроэлементы необходимые растениям не обнаружены. После выращивания тепличных культур в составе минеральной ваты отмечено 0,43...0,58 % азота, P_2O_5 и K_2O не установлено, такие тяжелые металлы (ТМ), как кадмий, никель, медь, цинк, свинец отсутствовали. Кислотность находилась на уровне 6,8 ед. pH_{KCl}

В состав используемого для исследований высушенного куриного помета входило 2,0 % N, 1,2 % P_2O_5, 0,9 % K_2O, тяжелые металлы не обнаружены, реакция среды – 7 ед. pH_{KCl}.

Содержание органического вещества в вариантах без удобрений и с внесением органо-минерального субстрата в слое 0...20 см к концу вегетационного периода в среднем за годы исследования оставалось на

1. Агрохимическая характеристика почвы в зависимости от схем применения удобрений (в среднем по слою 0…20 см, среднее за 2017–2019 гг.)

Вариант	Содержание			Обменная кислотность, ед. pH	Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г почвы	Сумма поглощённых оснований, мг-экв./100 г почвы
	органического вещества, %	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/кг			
F0	2,85	211,97	121,72	5,43	1,91	14,60
MW	2,78	213,40	130,72	5,45	1,94	14,35
S	2,86	231,88	125,46	5,41	1,94	14,35
CHD	3,00	245,56	134,24	5,43	1,75	13,85
SNPK	3,05	253,70	141,17	5,64	1,88	15,45
NPK	2,92	248,67	124,33	5,42	2,07	14,25
$НСР_{05}$	$F_ф<F_{05}$	18,82	$F_ф<F_{05}$	$F_ф<F_{05}$	$F_ф<F_{05}$	0,83

исходном уровне (табл. 1). При заделке использованной минеральной ваты отмечена тенденция к снижению величины этого показателя, по сравнению с вариантом без удобрений, на 0,07 %.

Усилению процессов гумификации способствовало применение обеззараженного куриного помета (CHD), органо-минерального субстрата в сочетании с NPK (SNPK) и минерального удобрения (NPK). На их фоне отмечена тенденция к увеличению содержания органического вещества в почве на 0,07…0,20 %, что, в свою очередь, сказалось на урожайности полевых культур. Наиболее благоприятные условия для гумификации и накопления органического вещества сформировались при совместном использовании органо-минерального субстрата и минеральных удобрений.

В течение 3 лет наблюдений во всех вариантах с применением удобрений отмечали незначительное снижение pH_{KCl} на 0,05…0,09 ед. Использование органо-минерального субстрата вместе с NPK (SNPK) вызвало недостоверное повышение величины этого показателя до 5,64 ед., то есть до степени кислотности близкой к нейтральной. Положительный эффект куриного помета и отработанной минеральной ваты можно объяснить тем, что они имели нейтральную реакцию, а также были источником кальция и магния, которые способствуют нейтрализации реакции почвенного раствора.

Изучаемые схемы применения удобрений не оказывали значительного влияния на гидролитическую кислотность почвы. Сумма поглощенных оснований несколько снижалась при внесении использованной минеральной ваты (MW), органо-минерального субстрата (S), обеззараженного куриного помета (CHD), а также минеральных удобрений в чистом виде (NPK), и значительно увеличилась на 0,85 мг-экв./100 г почвы при внесении органо-минерального субстрата совместно с минеральными удобрениями. В этом варианте почва характеризовалась повышенным содержанием суммы обменных оснований, что можно объяснить относительно высокой ее гумусированностью, которая также влияет на величину этого показателя, что подтверждает высокий коэффициент корреляции $r = 0,85$ ($p \leq 0,05$).

По степени насыщенности почвы основаниями наблюдали такие же изменения под влиянием изучаемых факторов, как и по сумме поглощенных оснований. Величины этого показателя достаточно высокие – от 87,34 % в варианте с применением полного минерального удобрения до 89,15 % при совместном внесении органо-минерального субстрата и минеральных удобрений.

Продуктивность сельскохозяйственных культур – один из основных показателей, определяющих эффективность применения удобрений. В наших исследованиях при использовании только минеральных удобрений общая продуктивность растений возросла, по сравнению с вариантом без удобрений, на 13,8 %. Заделка органо-минерального субстрата (S), обеззараженного куриного помета (CHD) и органо-минерального субстрата с NPK (SNPK) повышала общую продуктивность, по сравнению с контролем (F0), на 31,03, 23,75 и 49,04 % соответственно (табл. 2).

2. Изменение урожайности полевых культур в зависимости от систем удобрений

Вариант	Урожайность, т/га			Общая продуктивность, тыс. зерн. ед./га
	вико-овсяная смесь	пшеница яровая	рапс яровой	
F0	25,7	1,33	9,06	17,25
MW	24,5	1,43	9,92	18,35
S	31,0	2,07	12,44	23,33
CHD	31,0	1,47	13,12	23,65
SNPK	32,8	2,07	18,40	31,69
NPK	24,3	1,24	17,07	27,86
$НСР_{05}$	$F_ф<F_{05}$	0,28	1,36	3,95

За 3-летний период ведения опыта содержание подвижных форм фосфора в почве снизилось на 74,13…33,00 мг/кг, что может быть связано с выносом с урожаем культур. Тем не менее степень обеспеченности почвы этим элементом остается на высоком уровне из-за последействия фосфоритования, которое было проведено в регионе в 1980-е годы. Применение всех изученных удобрений, за исключением минеральной ваты, способствовало значительному увеличению содержания подвижного фосфора при максимальном в опыте уровне в варианте органо-минеральный субстрат + NPK (SNPK) – 253,70 мг/кг, или выше контроля на 41,73 мг/кг.

Содержание подвижного калия в почве, несмотря на применение удобрений, оставалось на исходном уровне. Это может быть связано с потреблением калия выращиваемыми культурами, а также переходом этого элемента, внесенного с удобрением, в необменное состояние. Наибольшее содержание подвижного калия отмечали в варианте органо-минеральный субстрат + NPK (SNPK) – 141,17 мг/кг почвы.

Согласно результатам корреляционно-регрессионного анализа (при $p \leq 0,05$ %) общая продуктивность посевов была тесно связана с такими агрохимическими показателями почвы, как содержание органического вещества ($r = 0,78$), содержание подвижных форм фосфора ($r = 0,78$); несколько слабее с содержанием подвижных форм калия ($r = 0,69$), обменной кислотностью ($r = 0,68$) и суммой обменных оснований ($r = 0,51$).

Наиболее высокая окупаемость затрат выручкой от реализации продукции зафиксирована при использовании органо-минерального субстрата (S) и обеззараженного куриного помета (CHD) – 4,32…4,74 руб./руб. (табл. 3). Но в этих вариантах отмечены недостаточно высокие условный чистый доход с 1 га (43 026,34…43 563,55 руб./га) и выручка от реализации продукции (55 210,55…55 979,24 руб./га). При близкой окупаемости затрат (3,55…3,94 руб./руб.) более высокие выручки от реализации продукции (65 928,71…74 990,20 руб./га) и условный чистый доход с 1 га (47 331,91…55 973,75 руб./га)

3. Экономическая эффективность систем удобрения (среднее за 2017–2019 гг.)

Вариант	Средняя продуктивность, тыс. зерн. ед./га	Совокупные затраты на 1 га, руб.	Выручка от реализации продукции, руб./га	Условный чистый доход на 1 га, руб.	Окупаемость затрат, руб./руб.
F0	5,75	10 675,36	40 824,05	30 148,70	3,82
MW	6,12	13 899,20	43 431,17	29 531,97	3,12
S	7,78	11 647,00	55 210,55	43 563,55	4,74
CHD	7,88	12 952,90	55 979,24	43 026,34	4,32
SNPK	10,56	19 016,45	74 990,20	55 973,75	3,94
NPK	9,29	18 596,80	65 928,71	47 331,91	3,55

наблюдали в вариантах с органо-минеральным субстратом в сочетании с NPK (SNPK) и с минеральными удобрениями (NPK).

Причина более высокой окупаемости затрат в вариантах без удобрений (F0), органо-минеральный субстрат (S), обеззараженный куриный помет (CHD) заключалась в более низких затратах на 1 га (примерно в 2 раза), по сравнению с вариантами органо-минеральный субстрат + NPK (SNPK) и NPK (NPK), в которых их увеличение было связано с приобретением минеральных удобрений. Это обстоятельство не должно влиять на преимущество варианта органо-минеральный субстрат + NPK (SNPK), так как для сельскохозяйственного товаропроизводителя более важное значение имеет абсолютная сумма прибыли, нежели ее отношение к величине текущих затрат. Поэтому использование органо-минерального субстрата в сочетании с минеральными удобрениями экономически более оправдана, так как доход в этом варианте возрастает, по сравнению с фоном без удобрений (F0), на 25 825,05 руб./га.

На основании полученных данных установлено, что внесение органо-минерального субстрата, состоящего из обеззараженного куриного помета и отработанных вегетационных матов тепличных предприятий, совместно с минеральными удобрениями способствует улучшению агрохимического состояния дерново-подзолистой почвы. По сравнению с вариантом без удобрений, содержание органического вещества возрастает на 0,20 %, кислотность – до 5,64 ед. pH_{KCl}, сумма поглощенных оснований – на 0,85 мг-экв./100 г почвы, содержание P_2O_5 – на 41,73 мг/кг, K_2O – на 19,45 мг/кг, продуктивность сельскохозяйственных культур – на 49,04 %, условный чистый доход – на 25 825,05 руб./га.

Литература.

1. Possibility of using organo-mineral substrate in agriculture / P. A. Kotyak, E. V. Chebykina, M. Yu. Ivanova, et al. // International Conference on World Technological Trends in Agribusiness: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Electronic Scientific Journal. 2021. Vol. 624. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/624/1/012229 (дата обращения: 15.12.2021). doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012229.

2. Инновационные способы переработки биоотходов птицеводства / В. Н. Попов, О. С. Корнеева, О. Ю. Искусных и др. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 1 (83). С. 194–200. doi: 10.20914/2310-1202-2020-1-194-200.

3. Воропаева Е. В., Воропаев В. В. Изменение содержания и качественного состава гумуса окультуренной дерново-подзолистой почвы в различных системах удобрения овощного севооборота // Агрохимия. 2019. № 12. С. 32–38. doi: 10.1134/S0002188119090126.

4. Котяк П. А., Чебыкина Е. В. Солома в качестве удобрения при разных обработках дерново-подзолистой почвы // Земледелие. 2008. № 8. С. 17–19.

5. Запасы и групповой состав фосфатов почв предгорной зоны Илийского Алатау и их изменение при длительном использовании / А. М. Балгабаев, Р. Е. Елешев, А. К. Умбетов и др. // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 124–158. doi: 10.19047/0136-1694-2020-101-124-158.

6. Soil chemical and fertilizer influences on soluble and medium-sized colloidal phosphorus in agricultural soils / M. Fresne, P. Jordan, O. Fenton, et al. // The Science of the total environment: Electronic Scientific Journal. 2021. Vol. 754. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720356412?via%3Dihub (дата обращения: 15.12.2021). doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142112.

7. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах / В. И. Лазарев, Р. И. Лазарева, Б. С. Ильин и др. // Агрохимия. 2020. № 2. С. 14–19. doi: 10.31857/S000218812002009X.

8. Legume reaction to soil acidity / A. A. Zavalin, O. A. Sokolov, N. Ya. Shmyreva, et al. // Amazonia Investiga. 2019. Vol. 8. No. 23. P. 162–170.

9. Сыщиков Д. В., Агурова И. В. К изучению суммы обменных оснований как одного из индикаторных показателей направленности почвообразовательного процесса в условиях антропогенно трансформированных экосистем // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: материалы IX Всероссийской науч.-практ. конф. Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2021. С. 197–204.

Influence of a new organo-mineral fertilizer on the agrochemical state of sod-podzolic gleyic soil

P. A. Kotjak, E. V. Chebykina, M. Ju. Ivanova, A. N. Voronin
Yaroslavl State Agricultural Academy, Tutaevskoe sh., 58, Yaroslavl', 150999, Russian Federation

Abstract. *We evaluated the efficiency of a new organo-mineral fertilizer, applied separately and in combination with mineral fertilizers. The work was carried out in 2017–2019 under the conditions of the Yaroslavl region on sod-podzolic gleyic medium loamy soil. The design of the experiment included the following treatments: without fertilizers; used Izovol Agro Universal mineral wool; organo-mineral substrate (OMS); disinfected chicken manure; OMS + NPK; NPK. The initial content of organic matter (GOST 26213-91) in the soil of the arable layer was 2.86%, the contents of mobile phosphorus and potassium (GOST 54650-2011) were 286.1 and 143 mg/kg of soil, respectively; the value of hydrolytic acidity was 2.07 mg-eq/100 g of soil. According to the results of the correlation-regression analysis, the overall productivity is closely related to the content of organic matter (r = 0.78), mobile forms of phosphorus (r = 0.78); somewhat weaker it is related to the content of mobile forms of potassium (r = 0.69), exchangeable acidity (r = 0.68) and S-value (r = 0.51). The best treatment in the experiment was the application of the OMS, consisting of prepared chicken manure and vegetation mats used in greenhouse production, in combination with the full rate of mineral fertilizers. It helped to improve the agrochemical state: the organic matter content increased by 0.20%, exchangeable acidity raised up to 5.64 units, the amount of absorbed bases grew by 0.85 mg-eq/100 g of soil, the contents of mobile phosphorus and potassium increased by 41.73 mg/kg and 19.45 mg/kg of soil, respectively. At the same time, the productivity of agricultural crops increased by 49.04%. With this fertilizer system, high revenues from the sale of products (74,990.20 rubles/ha) and conditional net income per 1 ha (55,973.75 rubles/ha) were observed.*

Keywords: *fertilizers; sod-podzolic gleyic soil; agrochemical state; organo-mineral substrate; field crop productivity.*

Author Details: *P. A. Kotjak, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof. (e-mail: p.kotyak@yarcx.ru); E. V. Chebykina, Cand. Sc. (Agr.), head of department; M. Ju. Ivanova, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof.; A. N. Voronin, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof.*

For citation: *Kotjak PA, Chebykina EV, Ivanova MJu, et al. [Influence of a new organo-mineral fertilizer on the agrochemical state of sod-podzolic gleyic soil]. Zemledelie. 2022;(3):28-31. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-28-31.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-32-36
УДК 631.58:551.5

Основная обработка почвы и формирование азотного режима в системе точного земледелия

Н. В. АБРАМОВ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (e-mail: vip.anv.55@mail.ru)
С. А. СЕМИЗОРОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
А. М. ОКСУКБАЕВА, аспирант
Государственный аграрный университет Северного Зауралья, ул. Республики, 7, Тюмень, 625003, Российская Федерация

Исследования проводили с целью изучения роли основной обработки почвы в формировании азотного режима при использовании систем спутниковой навигации в технологических процессах возделывания яровой пшеницы. Работу выполняли в 1978–2020 гг. в северной лесостепи Тюменской области. Схема опыта предусматривала следующие системы основной обработки лугово-чернозёмной почвы: отвальная – вспашка под однолетние травы на глубину 25...27 см, под яровую пшеницу – на 20...22 см (контроль); дифференцированная – отвальная под однолетние травы на 25...27 см, мелкая на 10...12 см культиватором под яровую пшеницу; безотвальная – глубокое рыхление на 45 см под однолетние травы, культивация на 10...12 см под яровую пшеницу; нулевая – без основной обработки почвы (прямой посев). Работу выполняли в зерновом севообороте с занятым паром (горох с овсом на сенаж – пшеница – пшеница). Отбор почвенных проб с привязкой к географическим координатам, параллельное вождение агрегатов при выполнении технологических операций, дифференцированное внесение удобрений проводили с использованием систем спутниковой навигации. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в режиме off-line с учётом содержания азота в нитратной форме снижало его пространственную вариабельность при посеве яровой пшеницы на 7,8 %, к фазе кущения – на 9,3 % со средним уровнем обеспеченности культурных растений N-NO_3 (10,2...12,7 мг/кг) в пахотном слое. Безотвальная обработка и ее отсутствие увеличивали урожайность яровой пшеницы на 0,46...0,47 т/га, по сравнению со вспашкой. Оптимизация минерального питания, несмотря на увеличение нормы азотных удобрений в указанных вариантах повышала прибыль на 5808...8596 руб./га при уровне рентабельности производства зерна 59,3...78,7 %.

Ключевые слова: *система основной обработки почвы, азотный режим, дифференцированное внесение, минеральные удобрения, системы спутниковой навигации, яровая пшеница (Triticum aestivum).*

Для цитирования: *Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Оксукбаева А. М. Основная обработка почвы и формирование азотного режима в системе точного земледелия // Земледелие. 2022. № 3. С. 32–36. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-32-36.*

Система основной обработки почвы в севообороте один из решающих факторов, которые оказывают влияние на обеспеченность культурных растений нитратным азотом. Вопрос о применении отвальной или безотвальной обработки почвы в различных почвенно-климатических условиях очень важен, так как связан с воспроизводством плодородия почвы [1, 2, 3].

Азот часто выступает одним из основных агрохимических факторов почвенного плодородия в системах питания культурных растений [4, 5]. Он входит в простые и сложные белки, в состав нуклеиновых кислот, содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах и других органических веществах растительной клетки [5, 6]. Уровень содержания азота в почвах определяет продуктивность и качество сельскохозяйственных культур. Основные факторы регулирования азотного режима почвы – научно-обоснованные севообороты, обработка почвы, органические и минеральные удобрения.

Увеличение доли химической энергии в энергетическом балансе интенсивного земледелия создает предпосылки для сокращения затрат механической энергии на обработку почвы. Это определяет мировые тенденции минимализации основной обработки почвы по мере наращивания химизации земледелия. Однако замена вспашки безотвальной обработкой и уменьшение ее глубины приводит к снижению биологической активности почвы и минерализации ее органического вещества [7]. Как результат, обработка почвы без оборота пласта проигрывает традиционной отвальной по накоплению нитратного азота в слое 0...30 см [8, 9]. Общепринятая же схема внесения минеральных удобрений усредненной нормой по вариантам изучаемых систем основной обработки почвы изначально ставит их в неравные условия по обеспеченности культур азотом. Цифровые технологии открывают возможности для автоматизации производственных процессов при возделывании сельскохозяйственных культур. Это новое направление в аграрном секторе набирает обороты [10, 11]. Цифровое земледелие (Digital Farming) использует всю имеющуюся информацию о состоянии агроценозов, технических параметров механизмов для выработки инновационных технологий выращивания культур с применением систем спутниковой навигации [12, 13, 14]. В сочетании с тематикой и управлением банком данных точное земледелие повышает точность операций и позволяет управлять вариабельностью параметров плодородия внутри поля [15, 16, 17]. В результате для агроценозов формируются оптимальные условия продуцирования. Использование космических систем в технологических процессах возделывания сельскохозяйственных культур изменяет функцию обработки почвы в формировании азотного режима [17, 18, 19].

Цель исследований – изучить роль основной обработки почвы в формировании азотного режима при использовании систем спутниковой навигации в технологических процессах возделывания яровой пшеницы.

В задачи исследований входило:

установить влияние основной обработки почвы на динамику накопления нитратного азота в период вегетации яровой пшеницы;

изучить обеспеченность культурных растений N-NO_3 при дифференцированном внесении азотных удобрений в режиме off-line;

дать агроэкономическую оценку инновационного подхода к проведению основной обработки почвы с использованием систем спутниковой навигации.

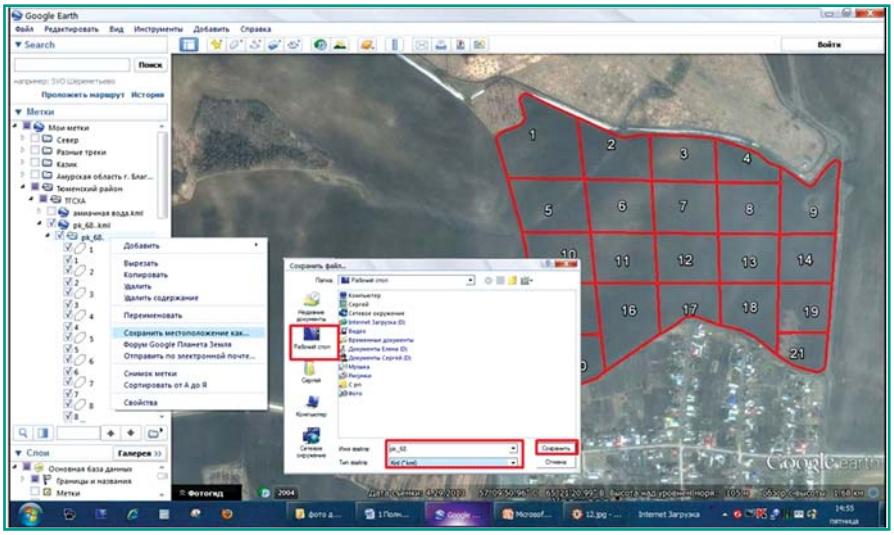

Рис. 1. Картосхема с элементарными участками.

Эксперименты по изучению различных систем основной обработки почвы проводятся с 1978 г. В этой публикации анализируются результаты 2019–2020 гг., в сравнении с формированием азотного режима в 1978–1991 и 2009–2011 гг. Почва опытного поля – лугово-черноземная, осолоделая, маломощная, тяжелосуглинистая, характеризующаяся высоким естественным плодородием. Содержание гумуса в слое 0...30 см составляет 7,96 %, актуальная кислотность – 6,9 ед. $pH_{водн}$. Содержание подвижного фосфора и калия по шкале Чирикова классифицируется как повышенное и очень высокое – соответственно 120...140 и 124...175 мг/кг, что обеспечивает формирование хороших урожаев зерновых культур даже без применения фосфорных и калийных удобрений.

Метеоусловия 2019 г. были благоприятными для выращивания яровой пшеницы. Сумма активных температур составила 2180 °С, осадков за вегетационный период – 324 мм, ГТК равнялся 1,49. В 2020 г. погода была менее благоприятной, так как при сумме активных температур 2463 °С и 226 мм осадков ГТК составил 0,92.

Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу (ГОСТ 27894.4-88) перед посевом, в фазе кущение – выход в трубку, перед уборкой яровой пшеницы по слоям 0...10, 10...20, 20...40 см.

Урожайность яровой пшеницы учитывали прямым комбайнированием Sampo-500 в 3-кратной повторности с пересчетом на 100 %-ную чистоту и 14 %-ную влажность. Экономическую эффективность обработки почвы и минерального питания рассчитывали по общепринятой методике. Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием программных продуктов «Oda 1», «Oda 2», разработанных на кафедре ЭМ и ВТ ГАУ Северного Зауралья.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов систем основной обработки почвы зернового севооборота с занятым паром (горох с овсом на сенаж – яровая пшеница – яровая пшеница):

отвальная – вспашка плугом на глубину 25...27 см под однолетние травы, на 20...22 см под яровую пшеницу (контроль);

дифференцированная – отвальная под однолетние травы на 25...27 см, мелкая обработка на 10...12 см стерневым культиватором KOS под яровую пшеницу;

безотвальная – глубокое рыхление на 45 см чизельным плугом ПЧН-2,3 под однолетние травы и мелкое на 10...12 см стерневым культиватором KOS под яровую пшеницу;

нулевая – без основной обработки почвы (прямой посев).

Эффект от положительного влияния ресурсосберегающих систем основной обработки будет более сильным при достижении внутрипольной выровненности по агрохимическим показателям почвенного плодородия, так как на отдельных участках они могут быть фактором, ограничивающим формирование хороших урожаев. В системе точного земледелия предполагается переход на дифференцированное внесение минеральных удобрений с учётом содержания элементов питания по элементарным участкам (в нашем опыте – по вариантам обработки и повторностям). При пространственной неоднородности полей по почвенному плодородию необходим иной подход к составлению агрохимических картограмм и их дальнейшему использованию. Алгоритм управления продукционными процессами агроценозов в режиме off-line предусматривает детальное агрохимическое обследование почвы поля. Для этого создаётся картосхема с элементарными участками, которые фиксируются в географических координатах (рис. 1).

Отбор почвенных проб проводили автоматически пробоотборником

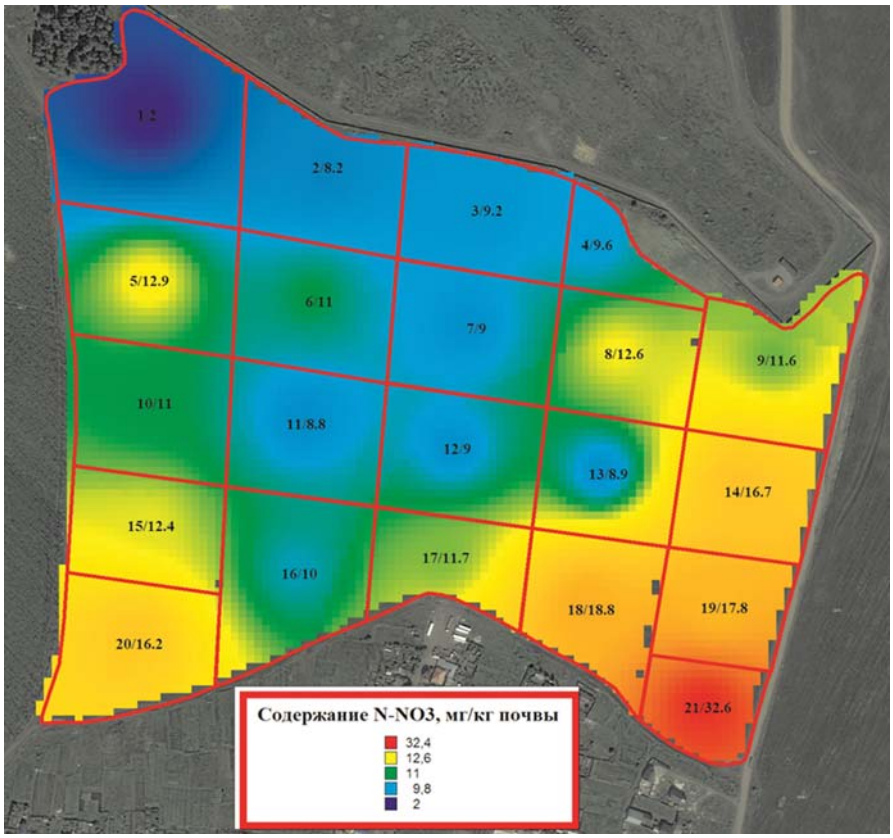

Рис. 2. Картограмма содержания нитратного азота в почве, мг/кг.

Рис. 3. Карта задания дифференцированного внесения удобрений.

конструкции ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья (г. Тюмень), позволяющим отбирать смешанную пробу в слое 0...40 см за 4...7 с в зависимости от плотности почвы. Почвенные пробы отбирали мобильным комплексом на базе автомобиля УАЗ-23632.

Полученные данные по содержанию элементов питания не усредняли по полям севооборота, а учитывали при внесении минеральных удобрений по микроучасткам. Агрохимическую картограмму в цветовой гамме с фактическими данными по содержанию нитратного азота составляли по элементарным участкам (рис. 2).

После создания электронной карты опытного поля, его агрохимического обследования составляли карту задания для дифференцированного внесения удобрений, которую экспортировали в бортовой навигационный компьютер (БНК) трактора (рис. 3).

Дифференцированное внесение азотных удобрений перед посевом зерновых культур выполняли в автоматическом режиме при движении посевного агрегата по делянкам опыта. Приёмник навигационных сигналов передавал сигнал о местоположении агрегата на поле бортовому навигационному компьютеру, содержащему в себе электронную карту задания. БНК, обработав информацию, подавал сигнал о заезде на элементарный участок (повторность опыта). Блок управления БНК передавал задание линейному актуатору размера выхода (закрытия) рабочей части катушки для внесения аммиачной селитры согласно карте задания. Этот процесс обеспечивал дифференцированное внесение удобрений с учетом содержания нитратного азота в почве и планируемой урожайности культуры по повторностям и вариантам опыта.

Согласно результатам опытов, проведенных ранее, система основной обработки почвы без оборота пласта снижала накопление нитратного азота до внесения минеральных удобрений перед посевом яровой пшеницы в слое 0...40 см до 4,7...6,1 мг/кг (табл. 1).

1. Содержание нитратного азота в почве в зависимости от систем основной обработки почвы при традиционном применении азотных удобрений (среднее за 1978–1983 гг.), мг/кг

Система основной обработки почвы	До внесения удобрений			В фазе кущения пшеницы после внесения N_{60}		
	0...20 см	20...40 см	0...40 см	0...20 см	20...40 см	0...40 см
Отвальная	10,1	5,7	7,9	16,6	6,9	11,8
Дифференцированная	11,8	5,8	8,8	15,2	7,7	11,5
Безотвальная	8,0	4,1	6,1	10,8	5,0	7,9
Нулевая	6,3	3,0	4,7	10,1	4,2	7,2
$НСР_{05}$	1,8	1,2	1,5	2,3	1,7	1,9

Ежегодная отвальная и дифференцированная системы обработка способствовали увеличению содержания $N\text{-}NO_3$ в слое 0...40 см к посеву зерновых до внесения азотных удобрений до 7,9...8,8 мг/кг почвы, что также соответствовало низкому уровню величины этого показателя. Однако в слое 0...20 см эти системы основной обработки почвы обеспечивали накопление $N\text{-}NO_3$ до среднего уровня – 10,1 и 11,8 мг/кг. Одним из основных источников пополнения почвы азотом для растений выступает внесение минеральных удобрений. Врезание перед посевом яровой пшеницы аммиачной селитры в дозе 60 кг/га д.в. способствовало увеличению содержания нитратного азота в слое 0...20 см к фазе кущение – выход в трубку в вариантах отвальной и дифференцированной систем основной обработки до высокого уровня (15,2...16,6 мг/кг). Преимущество этих систем по содержанию $N\text{-}NO_3$ отмечено и в слое 0...40 см – 11,5 и 11,8 мг/кг почвы. Рост количества нитратного азота после внесения минеральных удобрений отмечен также при безотвальной обработке и в варианте с ее отсутствием, но только до среднего уровня обеспеченности в слое 0...20 см (10,1...10,8 мг/кг) и низкого в слое 0...40 см (7,2...7,9 мг/кг).

То есть, в вариантах с отвальной и дифференцированной системами основной обработки формировался более благоприятный в опыте азотный режим почвы для культурных растений, по сравнению с безотвальной и нулевой, при которых зафиксировано снижение урожайности яровой пшеницы на 0,30 и 0,95 т/га при абсолютных значениях 3,45 и 2,82 т/га соответственно против 3,77 и 3,78 т/га по вспашке и дифференцированной обработкам. Между величиной этого показателя и содержанием нитратного азота в пахотном слое на фоне изучаемых систем основной обработки почвы отмечена средняя положительная связь (r=0,472). Согласно коэффициенту детерминации нитратный азот в фазе кущение – выход в трубку определял величину сбором зерна яровой пшеницы всего лишь на 22,3 %.

По многим водно-физическим свойствам (содержание продуктивной влаги, интенсивность испарения с поверхности поля, структура почвы, её водопрочность и др.) почвы, варианты с обработкой почвы без оборота

2. Содержание нитратного азота в слое почвы 0...30 см в зависимости от основной обработки почвы при дифференцированном внесении азотных удобрений (среднее за 2009–2011 и 2019–2020 гг.), мг/кг

Система обработки почвы	Сроки отбора почвенных образцов		
	перед посевом после внесения удобрений	кущение – выход в трубку	перед уборкой
Отвальная	10,1	10,2	6,0
Дифференцированная	8,2	11,9	5,8
Безотвальная	10,4	11,9	7,3
Нулевая	9,1	12,7	6,6
$НСР_{05}$	1,2	1,4	1,0

3. Экономическая эффективность возделывания яровой пшеницы при различных системах основной обработки с дифференцированным внесением минеральных удобрений (среднее за 2009–2011 и 2019–2020 гг.)

Система основной обработки почвы	Урожайность, т/га	Затраты, руб./га	Прибыль, руб./га	Себестоимость, руб./т	Рентабельность, %
Отвальная	3,56	26446	9154	7428	34,6
Дифференцированная	3,63	24889	11410	6857	45,9
Безотвальная	4,02	25238	14962	6278	59,3
Нулевая	4,03	22550	17750	5596	78,7
$НСР_{05}$	0,27				

пласта имели преимущество перед вспашкой [20, 21].

Дифференцированное внесение азотных удобрений в режиме off-line с использованием систем спутниковой навигации по вариантам изучаемых систем основной обработки почвы способствовало снижению пространственной вариабельности $N\text{-}NO_3$ уже в период посева яровой пшеницы (табл. 2). Варьирование содержания нитратного азота до внесения минеральных удобрений по вариантам опыта составляло 3,6...29,0 %. Применение аммиачной селитры дифференцированно с использованием систем спутниковой навигации в режиме off-line позволило уменьшить пространственную пестроту $N\text{-}NO_3$ по изучаемым системам основной обработки почвы до 2,9...21,2 % с абсолютным его содержанием в слое 0...30 см 8,2...10,4 мг/кг.

Пространственная вариабельность содержания нитратного азота в фазе кущение–выход в трубку продолжала снижаться до 1,4...19,7 %, или на 2,2...9,3 % относительно периода до внесения удобрений. При этом явно просматривалась закономерность роста величины этого показателя по вариантам обработки почвы без оборота пласта. В важный период для яровой пшеницы, когда идет закладка колоса, обеспеченность культурных растений $N\text{-}NO_3$ во всех изучаемых вариантах систем основной обработки почвы соответствовала среднему уровню (10,2...12,7 мг/кг). К уборке яровой пшеницы содержание нитратного азота составляло 5,8...7,3 мг/кг с его пространственной пестротой 9,6...20,6 %.

Инновационные технологии внесения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации решали вопросы формирования равномерного азотного режима по различным системам основной обработки почвы. Ресурсосберегающие системы основной обработки почвы, имея преимущество перед традиционной вспашкой по формированию водно-физических свойств, при снижении пространственной вариабельности содержания нитратного азота в пахотном слое, становятся более предпочтительными для продуцирования яровой пшеницы. Урожайность яровой пшеницы на фоне дифференцированной системы обработки почвы в среднем за годы исследований составляла 3,63 т/га и превышала таковую по вспашке на 0,07 т/га, а рентабельность производства зерна – на 7,4 % (табл. 3).

Оптимизация азотного питания при дифференцированном внесении минеральных удобрений по безотвальной мелкой обработке с чизелеванием на глубину 45 см под однолетние травы и в варианте без основной обработки почвы обеспечила формирование наибольшей в опыте урожайности яровой пшеницы – 4,02...4,03 т/га.

В структуре затрат по ресурсосберегающим системам основной обработки почвы азотные удобрения занимали до 12 % (при дифференцированной – 2214 руб./га, безотвальной – 2502, нулевой – 2700 руб./га, что было выше, по сравнению с отвальной обработкой, на 18...504 руб./га).

Затраты на выполнение основной обработки почвы снижались относительно вспашки – по безотвальной на 1514 руб./га, дифференцированной – на 1575, нулевой – на 4700 руб./га. При цене реализации яровой пшеницы 10000 руб./т (в ценах 2019–2020 гг.) наибольшая в опыте чистая прибыль (14962...17750 руб./га) отмечена в вариантах без основной обработки почвы и при безотвальной системе. Несмотря на увеличение издержек на применение азотных удобрений, дифференцированное их внесение с использованием систем спутниковой навигации и снижение затрат на проведение обработки почвы, повышало рентабельность производства яровой пшеницы в этих вариантах, по сравнению с отвальной обработкой, на 11,3...44,1 %.

Таким образом, при безотвальной и нулевой системах обработки почвы накопление нитратного азота было менее интенсивным, чем при отвальной и дифференцированной. В вариантах с обработкой почвы без оборота пласта содержание $N\text{-}NO_3$ в слое 0...20 см до внесения удобрений было низким (6,3...8,0 мг/кг), а по вспашке и дифференцированной обработке – средним (10,1...11,8 мг/кг).

Традиционный способ применения минеральных удобрений усредненной нормой не устранял пространственной вариабельности содержания нитратного азота по изучаемым системам основной обработки почвы. В фазе кущения яровой пшеницы на отвально и дифференцированно обработанных полях в слое 0...20 см оно составляло 15,2...16,6 мг/кг, что соответствовало высокой обеспеченности растений, тогда как в вариантах без основной обработки и при безотвальной обработке – средней (10,1...10,8 мг/кг).

Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом содержания нитратного азота по вариантам основной обработки почвы снижало пространственную пестроту почвы по величине этого показателя перед посевом яровой пшеницы на 7,8 %, к фазе кущение – выход в трубку – на 9,3 % с преимуществом накопления $N\text{-}NO_3$ по ресурсосберегающим обработкам: 11,9...12,7 мг/кг почвы.

Оптимизация минерального питания при дифференцированном внесении азотных удобрений с использованием систем спутниковой навигации позволила сформировать наибольшую урожайность яровой пшеницы 4,02...4,03 т/га по ресурсосберегающим системам обработкам почвы.

Эффективность ресурсосберегающих систем основной обработки почвы повышается в системе точного земледелия при внесении минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации. Производство зерна в этих вариантах характеризовалось низкой себестоимостью (5596...6857 руб./т) и более высокой рентабельностью (45,9...78,7 %), по сравнению с отвальной обработкой.

Литература.

1. Вильямс В. Р. Собрание сочинений. Утрата почвой условия плодородия и система его восстановления. М.: Московский рабочий. 1948. С. 180–281.

2. Мальцев Т. С. Вопросы земледелия. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1955. 432 с.

3. Власенко А. Н., Власенко Н. Г. Возможности экологизации технологий в земледелии Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 21–24.

4. Гамзиков Г. П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2013. 790 с.

5. Ермохин Ю. И. Метод «испрод» оптимальных уровней содержания и ионного равновесия в почве и растениях. Аграрию быть. Омск: ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П. А. Столыпина, 2021. 420 с.

6. Демина О. Н., Еремин Д. И. Влияние минеральных удобрений на нитратный режим и нитрификацию чернозема выще-

лоченного в Северном Зауралье // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 10–14. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-002.

7. Власенко А. Н., Власенко Н. Г. Система no-till на черноземных почвах Северной лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 81–83. doi: 10.25680/S19948603.2021.120.15.

8. Сдобников С. С. Вопросы земледелия в целинном крае. М.: Колос, 1964. 256 с.

9. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А., Власенко А. Н. Эффективность систем основной обработки темно-серой лесной почвы при возделывании ячменя // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 1. С. 11–17. doi: 10.26898/0370-8799-2021-1-1.

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

11. Петриков А. В. Использование инновационных технологий различными категориями хозяйств и совершенствование научно-технологической политики в сельском хозяйстве // АПК: экономика, управление. 2018. № 9. С. 4–11.

12. Bauer V. P., Podvoisky G. L., Kotova N. E. Adaptation Strategies of the U.S. Companies to the Digitalization of Production // The world of new economy. 2018. Vol. 12. No. 2. P. 78–89. (In Russ.) https://doi.org/10.26794/2220-6469-2018-12-2-78-89.

13. Якушев В. П., Жуковский Е. Е., Якушев В. В. Вариограммный анализ для обоснования технологий точного земледелия // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 3. С. 16–20.

14. Афанасьев Р. А. Агрохимические принципы точного земледелия // Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве: Сб. статей. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2013. С. 3–7.

15. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России / В. П. Якушев, В. В. Якушев, С. Ю. Блохина и др. // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. № 8. С. 755–768. doi: 10.31857/S0869587321080090.

16. Application of photometry for crops online diagnostics of the nitrogen nutrition of plants / O. A. Shchuklina, N. N. Langaeva, I. N. Voronchikhina, et al. // IOP conference series: earth and environmental science : Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products Сер. 2, Smolensk, 25 января 2021 года. URL: https://www.researchgate.net/publication/356714135_Application_of_photometry_for_crops_online_diagnostics_of_the_nitrogen_nutrition_of_plants (дата обращения 19.01.2022).

17. Агротехническая диагностика потребности полевых культур в азотных удобрениях / В. М. Красницкий, И. А. Бобренко, А. Г. Шмидт и др. // Плодородие. 2020. № 6 (117). С. 40–44. doi: 10.25680/S19948603.2020.117.12.

18. Шарипов Ш. И., Мутуев Ч. М., Курбанов З. М. Цифровая трансформация сельского хозяйства: тенденции и пути стимулирования // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 88–90

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

20. Боронтов О. К., Косякин П. А., Елфимов М. Н. Эффективность основной обработки почвы под сахарную свёклу в ЦЧЗ // Земледелие. 2013. № 4. С. 20–23.

21. Боронин А. А., Лощина А. Э. Перспективные технологии обработки почвы // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2015. № 2 (42). С. 130–135.

Main tillage and formation of nitrogen regime in precision farming system

N. V. Abramov, S. A. Semizorov, A. M. Oksukbaeva
State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, ul. Respublici, 7, Tyumen', 625003, Russian Federation

Abstract. *The research was carried out to determine the role of main tillage in the formation of the nitrogen regime when using satellite navigation systems in the technological processes of spring wheat cultivation. The work was carried out in 1978–2020 in the northern forest-steppe of the Tyumen region. The design of the experiment provided for the following systems of main processing of meadow-chernozem soil: moldboard – ploughing for annual grasses to a depth of 25–27 cm, for spring wheat – at 20–22 cm (control); differentiated – moldboard ploughing for annual grasses at 25–27 cm, shallow tillage at 10–12 cm with a cultivator for spring wheat; non-moldboard – deep loosening at 45 cm for annual grasses, cultivation at 10–12 cm for spring wheat; zero – without main tillage (direct sowing). Soil sampling with reference to geographical coordinates, parallel driving of aggregates during technological operations, differentiated fertilization was carried out using satellite navigation systems. Differentiated application of mineral fertilizers in the off-line mode, taking into account the nitrogen content in the nitrate form reduced its spatial variability by 7.8% when sowing spring wheat, and by the tillering phase – by 9.3% with an average level of availability of cultivated plants by N-NO3 (10.2–12.7 mg/kg) in the arable layer. Non-moldboard tillage and its absence increased the yield of spring wheat by 0.46–0.47 t/ha compared to ploughing. Optimization of mineral nutrition, despite the increase in the rate of nitrogen fertilizers in these options, increased profit by 5808–8596 rubles/ha with a profitability level of grain production of 59.3–78.7%.*

Keywords: *main tillage system; nitrogen regime; differentiated application; mineral fertilizers; satellite navigation systems; spring wheat (Triticum aestivum).*

Author Details: *N. V. Abramov, D. Sc. (Agr.), prof. (e-mail: vip.anv.55@mail.ru); S. A. Semizorov, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof.; A. M. Oksukbaeva, postgraduate student.*

For citation: *Abramov NV, Semizorov SA, Oksukbaeva AM [Main tillage and formation of nitrogen regime in precision farming system]. Zemledelie. 2022;(3):32-6. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-32-36.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-36-41
УДК 004.9

Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия

С. А. ВАСИЛЬЕВ, доктор технических наук, зав. кафедрой (e-mail: vsa_21@mail.ru)
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Московский просп, 15, Чебоксары, 428015, Российская Федерация

Цель исследования – разработать интеллектуальную технологию и технические средства оценки агротехнических показателей качества проведения обработки почвы в системе точного земледелия. Для ее выполнения предварительно модернизировали полевой профилограф. Этот прибор имеет основание с установочными стержнями и стойкой, на которой смонтирован угловой датчик и подвижный корпус, внутри которого размешены источник питания и блок управления; неподвижное опорное колесо и взаимодействующий с ним стеллит, лазерный датчик положения, установленный на направляющей с возможностью горизонтального и кругового движения, два электродвигателя, соединенные блоком управления, который с использованием Bluetooth-соединения связан с ноутбуком, оснащенным программой информационной системы измерения и компьютерного управления для согласованной работы электродвигателей прибора и датчиков. При модернизации полевой интеллектуальный профилограф оснастили приемником GPS и компасом, установленными в одном корпусе с акселерометром и гироскопом, а в нижней его части разместили термогигрометр окружающего воздуха и влагомер почвы. Разработали программное обеспечение и реализовали интеллектуальный алгоритм измерений. Измерения проводили в производственных условиях на контрольных обработанных полях СПК «Оринино» Моргаушского района Чувашской Республики. Работа полевого интеллектуального профилографа реализована в трех режимах: определение агротехнических показателей обработанной почвы; определение основных агротехнических показателей по открытой борозде при обработке; построение цифровой модели поверхности обработанной почвы. Интеллектуальная информационно-измерительная система

предоставляет следующие данные по профилю микрорельефа обработанной почвы: глубину обработки и отклонение ее от заданной; комковатость поверхности; коэффициент вспушенность; прямолинейность обработки; общий, продольный и боковой уклоны; относительную влажность почвы.

Ключевые слова: *интеллектуальная технология, контроль качества, обработка почвы, точное земледелие.*

Для цитирования: *Васильев С.А. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия // Земледелие. 2022. № 3. С. 36–41. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-36-41.*

В глобальном масштабе снижение качества почвы создало огромную проблему для повышения производительности сельского хозяйства, экономического роста и состояния окружающей среды [1]. Основные причины деградации почвы в значительной степени связаны с неправильным земледелием, недостаточным учетом эрозионных процессов и внутрипольной вариабельности среды обитания растений [2]. Деградация почвы в результате эрозионных процессов, нарушения агротехнических и противоэрозионных требований к обработке почвы приводит к ее существенному истощению и изменению физических показателей [3].

Интерес к оценке деградации почвы, особенно на склоновых землях, возрос, поскольку она выступает критически важным компонентом биосферы Земли. В естественных условиях равновесие почвы поддерживается благодаря почвогенетическим процессам, а антропогенная деятельность, например, различные приемы обработки, его нарушают. Поэтому важно определять деградацию почвы при проведении различных приемов почвообработки с использованием интеллектуальной технологии оценки ее качества [4, 5].

Информация об агротехнических показателях обработки почвы может помочь в дальнейшей расстановке приоритетов, а затем при реализации стратегии точного земледелия, которое позволяет устойчиво улучшать почвенные ресурсы [4]. Для этого желательно использовать концепцию оценки качества обработки почвы, поскольку отдельных показателей может быть недостаточно для количественного определения изменений свойств почвы, связанных с точным земледелием [6, 7]. В соответствии с этим многие исследователи сообщали, что комплексная оценка на основе комбинаций агротехнических показателей обработанной почвы для одной точки агроландшафта может лучше отражать качество ее обработки, по сравнению с отдельными показателями, в том числе при использовании возможностей искусственного интеллекта [4, 5, 7].

Несмотря на важность определения качества обработки почвы не существует комплексного и универсального метода выбора набора данных и оценки, а также технического средства контроля, для полевых условий, особенно на склоновых землях. В то же время известны показатели оценки качества механизированных работ, указанные в нормативной документации [8]. Некоторые из них предусматривают определение среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации без указания допустимых пределов изменения определяемой величины. Более сложно и менее исследовано влияние на качество выполняемой работы природно-климатических и почвенно-морфологических факторов с учетом конструктивных параметров машинно-тракторного агрегата.

Традиционно качество выполнения каждого приема обработки почвы определяют по совокупности показателей, которые могут характеризовать степень пригодности почвы для роста сельскохозяйственных культур [8]. Как правило, оценивают их по трех или пяти бальной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, плохо и очень плохо, а по сумме баллов выводят общую оценку [8].

Несмотря на разнообразие методов отбора данных и подсчета баллов, предыдущие исследования имеют ограничения в оценке приемов обработки почвы с одновременным использованием одних и тех же данных в сходных полевых условиях. При этом многие подходы к решению такой задачи уже разработаны и применяются [9, 10, 11]. Для их реализации в точном земледелии используют различные методы и технические средства измерения отечественного и зарубежного производства. Среди них можно выделить контактные средства: рулетки или линейки с рейками, бороздомеры, щупы или глубиномеры, измерительные профилометры, например, ИП-250, а также бесконтактные – наземные лазерные и интерференционные сканеры, системы цифровой фотограмметрии [5, 6, 11].

Цель исследования – разработать интеллектуальную технологию и технические средства оценки агротехнических показателей качества проведения обработки почвы в системе точного земледелия.

Для ее выполнения предварительно модернизировали полевой интеллектуальный профилограф (рис. 1). Этот прибор имеет основание с установочными стержнями и стойкой, на которой смонтирован угловой датчик и подвижный корпус, внутри которого размешены источник питания и блок управления; неподвижное опорное колесо и взаимодействующий с ним стеллит, лазерный датчик положения, установленный на направляющей с возможностью горизонтального и кругового движения, два электродвигателя, соединенные блоком управления, который с использованием Bluetooth-соединения связан с ноутбуком, оснащенным программой информационной системы измере-

Рис. 1. *Общий вид экспериментальных исследований с разработанным полевым интеллектуальным профилографом.*

ния и компьютерного управления для согласованной работы электродвигателей прибора и датчиков [6, 12]. При модернизации его оснастили приемником GPS и компасом, установленными в одном корпусе с акселерометром и гироскопом, а также в нижней части профилографа разместили термогигрометр окружающего воздуха и влагомер почвы. Отдельно разработали программное обеспечение и реализовали интеллектуальный алгоритм измерений.

Для точного определения горизонтальной поверхности, в которой перемещается лазерный датчик РФ-605 в процессе исследования, использовали электронный уровень с гироскопом и акселерометром MPU6050. Координаты геопозиции профилографа на склоновых землях определяли с использованием приемника GPS GY-NEO6MV2. Итоговая точность измерения с РТК-базой (Real Time Kinematic – «кинематика реального времени» – совокупность приёмов и методов получения плановых координат и высот точек местности сантиметровой точности с использованием спутниковой системы навигации посредством получения поправок с базовой станции) достигала 1...4 см. Для ориентирования на местности и установления начального положения лазерного датчика по азимуту, относительно географической северной стороны, использовали компас. Термогигрометр окружающего воздуха и влагомер почвы измеряли природно-климатические параметры, определяющие полевые условия.

Согласно ГОСТ 20915–2011 к определяемым показателям метеорологических условий относятся температура и влажность воздуха, которые влияют на результат измерения, а от точности учета этих факторов зависит точность конечного результата. Кроме того, температуру и относительную влажность необходимо определять и для самой почвы, так как они формируют полевые условия измерения и описывают совокупность побочных физических явлений, влияющих на полевой интеллектуальный профилограф и результат измерений.

Техническая характеристика профилографа: габаритные размеры – 1450 мм × 25 мм × 550 мм, диапазон изменения угловой скорости перемещения датчика – 0,1...2,5 рад/с, диапазон изменения радиальной скорости перемещения датчика – 0,0001...0,01 м/с, напряжение сети углового энкодера серии E60H – 5В DC, потребляемый ток – ≤80 мА; количество импульсов на один оборот – от 1024 до 8192, диапазон рабочих температур: -10...+60 °С, частота ответа – до 300 кГц, управляемое напряжение меняется импульсно от 0 В до 14,8 В, напряжение обратной связи – от 0 до 5 В. Основные характеристики профилографа: диапазон измерения расстояния от датчика до поверхности – 100...500 мм, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений х ±0,05 % диапазона, измерения по окружности – 0...360°, пределы допускаемой погрешности углового энкодера – ±30″.

Информация с прибора позволяет установить следующие показатели для агротехнической и эксплуатационно-технологической оценки обработки почвы, отмеченные в ГОСТ 20915-2011, ГОСТ 16265-89, ГОСТ 33687-2015 и ГОСТ 33736-2016 [8], а также в ряде научных трудов [5, 6, 12]: глубина обработки почвы, гребнистость поверхности почвы, угол оборота пласта, микрорельеф почвы, уклон поля, равномерность глубины обработки почвы, глыбистость поверхности пашни, вспушенность почвы, относительная влажность почвы, температура почвы, температура и влажность воздуха.

Кроме того, дополнительно определяли ряд показателей для противоэрозионных технологий, применяемых на склоновых землях [6]: угол отклонения направления обработки от горизонтали, продольный и поперечный уклон учетной площадки, крошение почвы (агрегатный состав почвы на ее поверхности в %).

Разработку технологического процесса контроля качества обработки почвы с использованием полевого профилографа проводили в производственных условиях на контрольных полях СПК «Оринино» Моргаушского района Чувашской Республики (рис. 2), обработанных машинно-тракторным агрегатом МТЗ-82 с плугом ПЛН-3-35.

Водосбор занимает площадь около 300 га с довольно сложными склонами до 10°, изрезанными оврагами и балками, на высоте 152...185 м над уровнем моря. Землепользование преимущественно пахотное, при этом озимая пшеница выступает основной культурой на 80 % площади земель. Согласно системе классификации преобладают дерново-подзолистые почвы с разной степенью оподзоленности. Годовое количество осадков составляет в среднем 500 мм, но они очень неравномерны по количеству и распределению на водосборе.

Для планирования замеров на сельскохозяйственных полях в процессе обработки почвы использовали разработанное программное обеспечение «Телематика Агро 2.0», представляющее собой систему планирования и ведения оперативного учета сельскохозяйственных работ, мониторинга местонахождения измерительных приборов, оборудования и машин, которая в том числе дает возможность отслеживать их состояние, осуществлять сбор, обработку и хранение полученных данных на сервере. По картам ПО «Телематика Агро 2.0» можно определить местоположение профилографа с отображением его координат GPS. ПО «Телематика Агро 2.0» имеет возможность экспортировать и импортировать метаинформацию о проекте в геоинформационную систему.

Пространственную изменчивость агротехнических показателей обработанной почвы на исследуемом контрольном поле определяли методом Кригинга [13, 14]. Это один из наиболее сложных и надежных методов интерполяции, предусматривающий применение передовых статистических методов и требующий знания пространственной статистики, с использованием которой проверяют данные. Метод Кригинга представля-

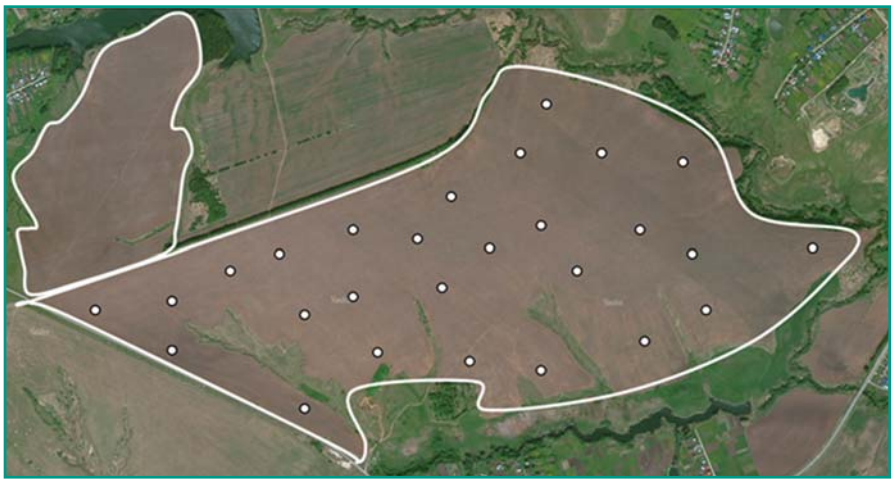

Рис. 2. *Фрагмент месторасположения экспериментального водосбора в Моргаушском районе Чувашской Республики с распределенными контрольными полями (27 точек замера).*

ет собой процедуру линейной интерполяции, когда интерполированные значения моделируются гауссовским процессом, которая обеспечивает несмещенные линейные оценки различных значений агротехнических показателей обработки почвы в пространстве и создает расчетную статистическую поверхность из разбросанного набора точек со значениями *z* [15]. В этом методе вариограмма (статистический момент для анализа и моделирования пространственной корреляции, описывающий связность данных при удалении от рассматриваемой точки) играет ключевую роль при анализе и моделировании геостатистических данных и учитывает автокорреляцию между пространственными данными для построения математических моделей пространственных корреляционных структур, местоположение на агроландшафте, неизвестный вес для измеренного значения агротехнического показателя в *i*-м местоположении, а также само измеренное значение агротехнического показателя на *i*-м участке и количество замеров этого показателя [16, 17]. Таким образом, по формуле Кригинга, «взвешиваются» окружающие измеряемые значения агротехнического показателя для того, чтобы получить предсказание неизмеренного агротехнического показателя и его местоположение на агроландшафте.

Разработанный полевой интеллектуальный профилограф может работать в трех режимах в зависимости от определяемых целей:

определение агротехнических показателей, характеризующих состояние поверхности обработанной почвы (коэффициент гребнистости, комковатость, общий уклон, продольный и боковой уклон, относительная влажность почвы);

определение агротехнических показателей, характеризующих состояние как поверхности, так и самой обработанной почвы (глубина обработки, комковатость поверхности, коэффициент вспушенности, прямолинейность обработки, общий уклон, продольный и боковой уклон, относительная влажность почвы, относительное отклонение средней глубины обработки от заданной и др.);

построение цифровой модели поверхности обработанной почвы для различных приемов ее обработки.

При *определении различных агротехнических показателей механически* обработанной почвы профилограф размещали на поверхность агроландшафта [6]. Определяли профиль поверхности почвы по окружности, ограничивающей измеряемую площадку, профилографом, оснащенным информационной системой. Для этого, опираясь на информацию от компаса, датчики профилографа устанавливали в исходные положения. Далее программа с ноутбука запускала нижний электродвигатель профилографа и проводилось сканирование поверхности почвы по периферии площадки с передачей информации с датчика на блок управления и далее в информационно-измерительную систему. Интеллектуальная информационно-измерительная система выдает данные по профилю микрорельефа обработанной почвы. В приведенном примере (рис. 3) коэффициент гребнистости поверхности почвы – 1,43, комковатость – 52 %, общий уклон – 3,5°, продольный и боковой уклон – 1,6 и 2,1° соответственно, относительная влажность почвы – 48 %. Одновременно полученные величины сравниваются с агротехническими требованиями. Несоответствие фактических параметров агротехническим требованиям к конкретному приему обработки почвы может привести к таким последствиям, как снижение урожайности, ухудшение условий для развития сельскохозяйственных культур, снижение эффекта от вносимых удобрений и применяемых средств защиты растений, уменьшение эффективности мелиоративных мероприятий, снижение плодородия почвы, прогрессирование эрозионных процессов и др. Использование разработанного метода дает возможность сканировать поверхность обработанной почвы и получать одновременно большой набор агротехнических показателей для конкретного участка поля.

При *измерении основных агротехнических показателей по открытой борозде* задавали следующий режим работы полевого интеллектуального профилографа с дальномером [11]. Прибор устанавливали по электронному уровню в борозду, образованную после прохода машинно-тракторного агрегата. Определяли по окружности профиль поверхности почвы необработанного участка, борозды и обработанного участка с использованием лазерного датчика и углового энкодера. По этим данным, интеллектуальная информационно-измерительная система устанавливала глубину и равномерность обработки почвы, величины глыбистости и гребнистости поверхности пашни, рассчитывала уклон поверхности почвы участка поля и коэффициент вспушенности. Прямолинейность вспашки замеряли с использованием дальномера, который устанавливали над стенкой борозды, замеры проводили на заданном расстоянии длины гона, отклонение от прямолинейности рассчитывали в процентах [11]. Интеллектуальная система формирует данные по профилю микрорельефа обработанной почвы, так, в приведенном примере (рис. 4) глубина обработки почвы составляет 238 мм, комковатость поверхности пашни – 45 %, коэффициент вспушенность почвы – 1,41, прямолинейность вспашки – 98 мм, общий уклон – 4°, продольный и боковой уклон – 3,6 и 1,8° соответственно, относительная влажность почвы 45 %.

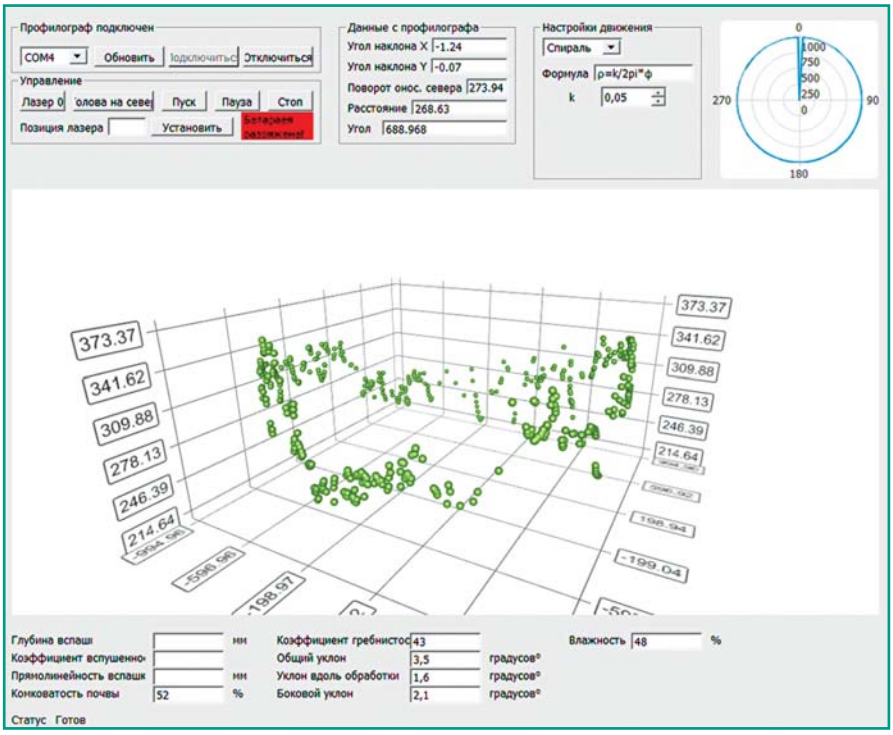

Рис. 3. *График профиля микрорельефа обработанной почвы в интерфейсе программы.*

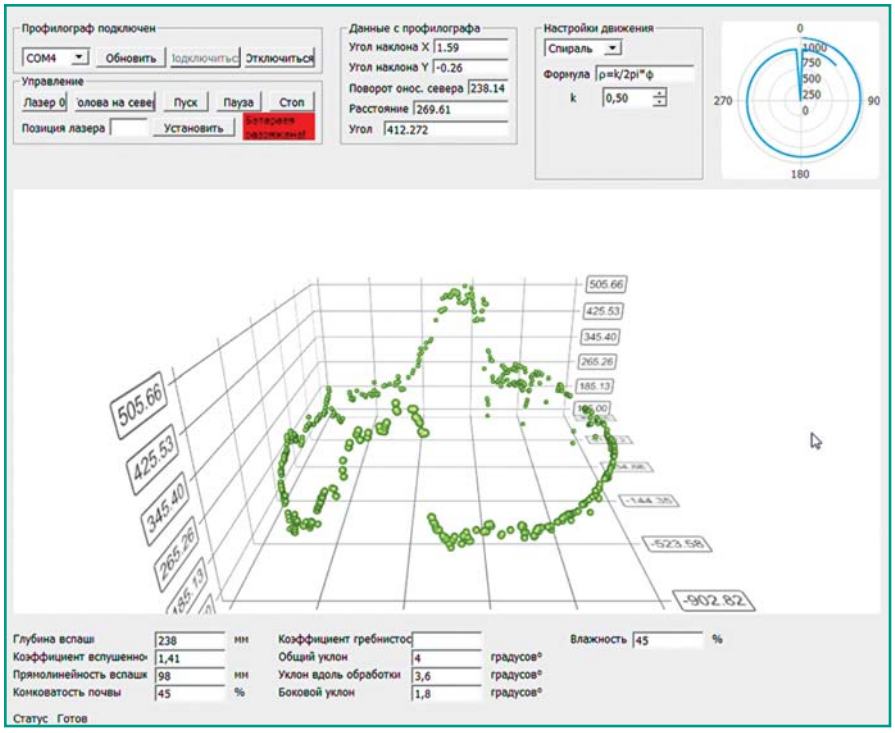

Рис. 4. *График профиля обработанной и необработанной почвы по открытой борозде в интерфейсе программы.*

Анализ графика профиля указывает на то, что условие контурной обработки почвы на склоне соблюдается, но в открытой борозде характерной плужной поверхности (подошвы) не видно (только несколько точек на дне борозды). Относительное отклонение средней глубины вспашки от заданной составило 3,8 %, по агротребованиям – ±10 %. При таком режиме работы одновременно замеряется большее число используемых для оценки качества обработки почвы в соответствие с ГОСТ-16265-89 агротехнических показателей, по сравнению с предыдущим, поскольку исследуется дополнительно необработанная часть участка и открытая борозда.

На сегодняшний день известно близкое по принципу работы решение экспресс-оценки микрорельефа учетной площадки поля И. М. Киреева [11]. Его подход реализуется с использованием лазерного профилографа ИП-284-01, однако из агротехнических показателей обработки можно расчетным путем определить только коэффициент гребнистости и комковатость поверхности почвы. Измерение уклонов при проведении такой экспресс-оценки трудоемкая задача, решение которой с высокой точностью практически не возможно. Интеллектуальная составляющая в программном обеспечении не используется.

При построении *цифровой модели обработанной поверхности* интеллектуальная система формирует по признакам, характеризующим свойства профилей поверхностей, решение о принадлежности распознаваемого профиля к той или иной модели по величине микрорельефа почвы, используя искусственные нейронные сети. Для определения профиля поверхности почвы при подаче сигнала от ноутбука, через блок управления, начинают работать два двигателя, перемещающих с использованием приводов датчик положения по направляющей, которая в свою очередь вращается по опорному колесу вокруг стойки. По результатам анализа полученных данных можно построить цифровую модель микрорельефа, на которой могут быть отражены, в том числе, например, следующие средние агротехнические показатели обработки (рис. 5): продольный уклон – 1,3°, поперечный уклон – 3,3°, коэффициент гребнистости поверхности почвы – 1,46. Одновременно определяются значения агротехнических показателей обработанного участка поля, используемые для оценки качества обработки почвы в ГОСТ 16265-89. Достаточно большую вариабельность получаемых данных по исследуемому участку обусловливает их разброс, а не погрешность прибора. Отличительной особенностью этого режима выступает полное сканирование исследуемого участка и возможность построения 3D-поверхности обработанной почвы, позволяющей реализовать моделирование мелиоративных, эрозионных и других процессов на различных агроландшафтах [18].

Такой режим работы профилографа отчасти аналогичен цифровой фотограмметрии. Метод теней [6] базируется на прямой зависимости между величиной микрорельефа поверхности почвы и площадью тени от структуры почвы при заданных параметрах падающего солнечного света. По сравнению со сканированием, фотограмметрия позволяет охватить большие учетные площади, однако по точности данных и трудоемкости работ этот подход будет уступать.

Расчетная стоимость разработанного нами профилографа составляет

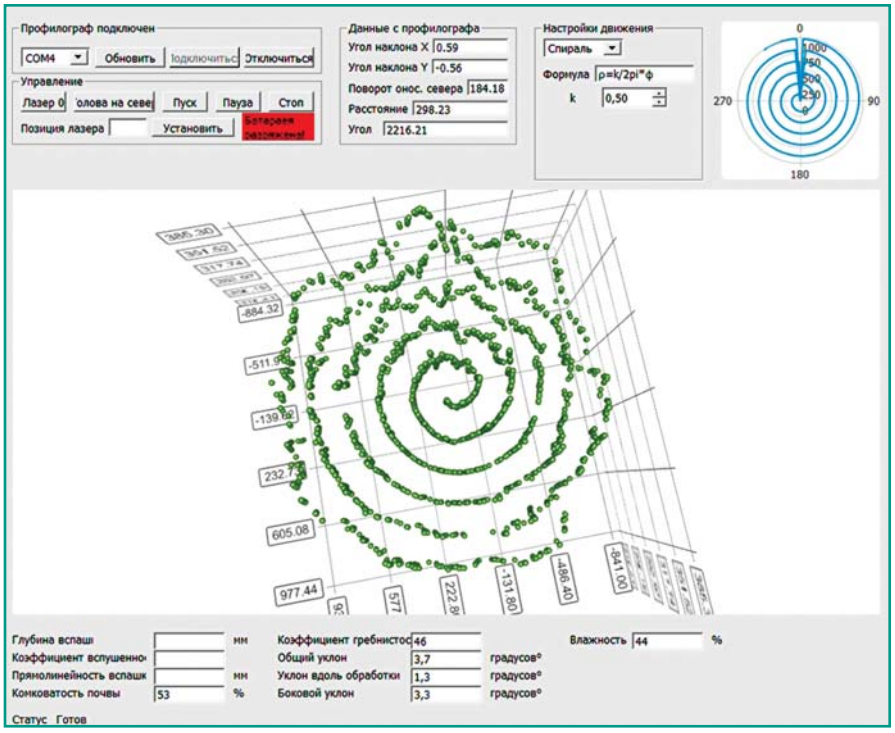

Рис. 5. *Цифровая модель микрорельефа (облако точек) обработанной почвы в интерфейсе программы.*

195 тыс. руб, трудоемкость контроля и оценки качества обработки почвы с его использованием – 0,05 часа на исследуемом участке до 7 м^2. В сравнении с традиционной технологией контроля и оценки качества обработки почвы, использование профилографа позволяет повысить производительность труда более чем в 11 раз. Освоение новой технологии контроля качества обработки почвы на склоновых землях в СПК «Оринино» Чувашской Республики при возделывании зерновых культур на площади 300 га обеспечит годовой эффект в размере 425,6 тыс. руб., а окупаемость единовременных затрат составит 0,46 года.

Разработана технология контроля и оценки агротехнических показателей качества обработки почвы, согласно ГОСТ 16265-89, с использованием полевого интеллектуального профилографа в системе точного земледелия. Работа этого прибора реализована в трех режимах: определение агротехнических показателей обработанной почвы; определение основных агротехнических показателей по открытой борозде при обработке; построение цифровой модели поверхности обработанной почвы. Интеллектуальная информационно-измерительная система вычисляет ряд параметров профиля микрорельефа обработанной почвы и их отклонение от заданного уровня, в том числе глубину обработки, комковатость поверхности, коэффициент вспушенности, прямолинейность обработки, общий, продольный и боковой уклоны, относительную влажность почвы и др.

Литература.

1. Байбеков Р. Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 5–8.

2. Изменение почвенного покрова в ландшафте на подгорно-приморских равнинах Дагестана / Р. Ф. Байбеков, В. И. Савич, Г. Б. Подголоцкая и др. // Плодородие. 2017. № 4 (97). С. 33–35.

3. Байбеков Р. Ф., Борисов Б. А., Ганжара Н. Ф. Расчет степени выпахивания и оптимизация свойств дерново-подзолистых и черноземных почв Европейской части России // Природообустройство. 2013. № 5. С. 18-20.

4. Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеенко Д. А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии // Земледелие. 2020. № 1. С. 33–37.

5. Васильев С. А., Федорова А. А., Алексеев В. В. Метод измерения профиля поверхности мехатронным профилографом с параллельным управлением приводами датчиков // Измерительная техника. 2021. № 12. С. 22–28.

6. Vasilyev S. A., Alekseev V. V. Research of the soil plowing technology on slope lands with a circular profilograph // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 839 (2021) 032029. URL: https://doi:10.1088/1755-1315/839/3/032029 (дата обращения: 14.01.2022).

7. Интегральная оценка бонитета почв сельскохозяйственных угодий / В. А. Седых, Р. Ф. Байбеков, К.В. Савич и др. // Земледелие. 2018. № 6. С. 18–20.

8. Гаффаров Х. Р., Тохиров М. З. У. Контроль качества выполнения основных полевых работ // Молодой ученый. 2017. № 4 (138). С. 204–205.

9. Формирование базы данных оптических характеристик посевов для выделения зон управления на основе дистанционного зондирования / Д. А. Матвеенко, В. В. Воропаев, В. В. Якушев и др. // Земледелие. 2021. № 6. С. 20–26.

10. Устройство для автоматизированного контроля качества посев семян при работе посевного агрегата / В. С. Ломакин, В. В. Якушев, Б. А. Телал и др. // Патент на полезную модель RU 197384, 23.04.2020.

11. Способ контроля качества обработки почвы на агроландшафтах в полевых условиях / С. А. Васильев, Р. И. Александров, М. А. Васильев и др. // Патент на изобретение № 2741746, 28.01.2021.

12. Vasiliev S. Classification of methods of moving the scanning sensor of a mechatronic profiler along the trajectories of plane curves // III International Workshop on Modeling, Information Processing and Computing (MIP: Computing-2021). Krasnoyarsk, Russia, 2021. P. 196–202.

13. Comparison of Interpolation Methods for Estimating pH and EC in Agricultural Fields of Golestan Province (North of Iran) / H. K. Poshtmasari, Z. T. Sarvestani, B. Kamkar, et al. // International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2012. No. 4. 157–167.

14. Using ArcGIS Geostatistical Analyst / J. Kevin, J. M. Ver Hoef, K. Krivoruchko, et al. // Environmental Systems Research Institute, Redlands. 2003. URL: https://scholar.google.com/scholar?hl=ar&as_sdt=0%2C5&q=Using+ ArcGIS + Geostatistical+Analyst%2C+Environ&btnG (дата обращения: 14.01.2022).

15. Исследование изменения природно-климатических условий и физических свойств почвы на агроландшафтной катене склоновых земель / С. А. Васильев, С. И. Чучкалов, Р. И. Александров, et al. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 26-35.

16. Оперативное и долгосрочное прогнозирование продуктивности посевов на основе массовых расчетов имитационной модели агроэкосистемы в геоинформационной среде (обзор) / В. П. Якушев, В. В. Якушев, В. Л. Баденко и др. // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 451–467.

17. Оценка внутриполевой изменчивости посевов с помощью вариограммного анализа спутниковых данных для точного земледелия / В. П. Якушев, В. М. Буре, О. А. Митрофанова и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 114–122.

18. Моделирование развития русла в подстилающей поверхности склоновых агроландшафтов / И. И. Максимов, В. И. Максимов, С. А. Васильев и др. // Почвоведение. 2016. № 4. С. 514–519.

Intelligent technology for quality control of tillage in the precision farming system

S. A. Vasiliev
Ulyanov Chuvashia State University, prosp. Moskovsky, 15, Cheboksary, 428015, Russian Federation

Abstract. *The purpose of the study was to develop an intelligent technology and technical means for assessing the agrotechnical indicators of the quality of soil cultivation in the precision farming system. For its implementation, the field profile recorder was previously modernized. This device has a base with pilots and a stand on which the angle sensor and the movable hull are mounted. Inside the hull there is a power supply and a control unit. Also, the device has a fixed support wheel and a stellite interacting with it; a laser position sensor mounted on a rail with the possibility of horizontal and circular movement; two electric motors connected by a control unit. This control unit is connected via Bluetooth to a laptop equipped with a measurement information system and computer control program for the coordinated operation of the device's motors and sensors. During the modernization, the field intelligent profile recorder was equipped with a GPS receiver and a compass installed in the same hull with an accelerometer and a gyroscope, and a thermohygrometer of ambient air and a soil moisture meter were placed in its lower part. We developed software and implemented an intelligent measurement algorithm. The measurements were carried out under production conditions on the control cultivated fields of the Orinino farm in the Morgaushsky district of the Chuvash Republic. The work of the field intelligent profile recorder is implemented in three modes: determination of the agrotechnical indicators of the cultivated soil; determination of the main agrotechnical indicators for an open furrow during processing; building a digital model of the surface of the cultivated soil. The intelligent information-measuring system provides the following data on the profile of the microrelief of the cultivated soil: the depth of processing and its deviation from the given one; soil cloddiness; fluffiness factor; straightness of processing; general, longitudinal and lateral decline; relative soil moisture.*

Keywords: *intelligent technology; quality control; tillage; precision farming.*

Author Details: *S. A. Vasiliev, D. Sc. (Tech.), head of department (e-mail: vsa_21@mail.ru).*

For citation: *Vasiliev SA [Intelligent technology for quality control of tillage in the precision farming system]. Zemledelie. 2022;(3):36-41. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-36-41.*

doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-42-45
УДК 635.21: 631.5

Влияние гербицидов на сегетальный компонент и урожайность картофеля в лесостепной зоне Челябинской области

А. А. ВАСИЛЬЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник (e-mail: kartofel_chel@mail.ru)
А. К. ГОРБУНОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Д. А. БОБОЕВ, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник
Н. В. ГЛАЗ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Главная, 21, пос. Исток, Екатеринбург, 620061, Российская Федерация

Исследования проводили с целью изучения эффективности гербицидной обработки картофеля. Работу выполняли в 2019–2021 гг. на выщелоченных черноземах лесостепной зоны Челябинской области. Схема полевого опыта предполагала изучение следующих вариантов: без гербицидов (контроль); обработка гербицидами Рауль, ВР (2 л/га) до появления всходов + Титус, СТС (0,04 л/га) по всходам картофеля; Артист, ВДГ (2,0 л/га) до появления всходов + Пантера, КЭ (1,5 л/га) в период вегетации. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый с содержанием гумуса 5,3±0,2 %, легкогидролизуемого азота – 171,7±14,7 мг/кг, подвижного фосфора – 55,6±24,5 мг/кг, подвижного калия – 191,9±69,0 мг/кг, $pH_{сол}$ = 4,75±0,19. Применение гербицидов Рауль, ВР (2 л/га) и Титус, СТС (0,04 л/га) снижало общую засоренность картофеля в 1,6 раза, гербицидов Артист, ВДГ (2,0 л/га) и Пантера, КЭ (1,5 л/га) – в 1,9 раза, по сравнению с контролем. Масса надземных вегетативных органов сорных растений при этом снижалась в 1,8 и 2,2 раза соответственно. В 2019 и 2021 гг. использование гербицидов сдерживало сорный компонент агроценоза в пределах экономического порога вредоносности, тогда как в условиях обильных осадков во второй половине вегетации 2020 г. гербицидный эффект препаратов существенно снижался, а засоренность картофеля многолетними сорняками была выше допустимых значений в 4,6...4,9 раза, малолетними – в 5,8...6,7 раза. Улучшая фитосанитарное состояние агроценоза, гербицидная обработка в целом по опыту обеспечивала значительное повышение урожайности клубней (на 5,98...8,23 т/га) и семенной продуктивности картофеля (в 1,4...1,5 раза). Содержание в клубнях сухого вещества, крахмала и нитратов при этом изменялось несущественно.

Ключевые слова: *картофель (Solanum tuberosum L.), сорняки, гербициды, урожайность, семенная продуктивность.*

Для цитирования: *Влияние гербицидов на сегетальный компонент и урожайность картофеля в лесостепной зоне Челябинской области / А. А. Васильев, А. К. Горбунов, Д. А. Бобоев и др. // Земледелие. 2022. № 3. С. 42–45. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-42-45.*

Сегетальная растительность оказывает наибольшее негативное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур. В планетарном масштабе сорняки обуславливают наибольшие потери урожая (до 34 %), в сравнении с болезнями (16 %) и вредителями (18 %) [1]. На полях Челябинской области встречается более 100 видов сорных растений [2], а наибольшая их вредоносность проявляется на пропашных культурах [3]. Картофель (*Solanum tuberosum* L.) проигрывает конкуренцию сорнякам за свет, воду и питательные элементы в начальный период вегетации (до смыкания рядов). Благоприятные условия для роста и развития сорных растений создаёт продолжительный довсходовый период картофеля [4, 5, 6].

Подавление сорного компонента выступает одной из важнейших задач технологии возделывания картофеля [7, 8]. Отрицательное влияние сорняков возрастает в годы с дефицитом осадков (влажность почвы в корнеобитаемом слое при средней степени засоренности снижается на 5 %) [9], кроме того, сорняки служат резерваторами возбудителей болезней и вредителей [10, 11]. Доказано, что в расчете на 1 га сорняки выносят из почвы 20...40 кг азота, 25...80 кг фосфора и 30...100 кг калия, а при сильной засоренности полей вынос элементов увеличивается соответственно до 100, 250 и 300 кг [12]. Среди приемов подавления сегетальных растений наиболее эффективным представляется применение гербицидов [13, 14].

Цель исследований – изучить влияние гербицидов на засоренность и продуктивность посадок картофеля в лесостепной зоне Челябинской области.

Исследования проводили в 2019–2021 гг. на базе ЮУНИИСК – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках выполнения Государственного задания по теме «Создание и усовершенствование адаптивных технологий возделывания экономически значимых сельскохозяйственных культур на основе оптимизации биотических и абиотических факторов». При закладке полевых опытов и проведении учетов и наблюдений руководствовались общепринятой методикой (*Методика исследований по культуре картофеля / под ред. Н. С. Бацанова. М.: НИИКХ, 1967. 262 с.*). Площадь опытной делянки составляла 600 м^2 (12 м × 50 м). Повторность опыта 4-кратная. Размещение делянок в опыте рендомизированное. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 336 с.*).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, содержащий гумуса 5,3±0,2 %, легкогидролизуемого азота – 171,7±14,7 мг/кг, подвижного фосфора (по Чирикову) – 55,6+24,5 мг/кг, подвижного калия (по Чирикову) – 191,9±69,0 мг/кг, $pH_{сол}$ = 4,75±0,19.

Предшественником картофеля в севообороте (пар – картофель – пшеница – ячмень) служил чистый пар. Сорт – Спиридон (среднеспелый). Посадку проводили во второй декаде мая клубнями массой 30...50 г на глубину 6...8 см. Схема посадки 75 см х 21 см (63,5 тыс. клубней на 1 га). Репродукция семенного материала – суперэлита. Картофель выращивали по общепринятой технологии.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: без гербицидов (контроль); обработка

1. Метеорологические условия периода исследований

Год	Температура воздуха, °С					Сумма осадков, мм				
	май	июнь	июль	август	среднее	май	июнь	июль	август	всего
2019	13,9	16,8	20,4	17,1	17,0	30,4	43,2	60,7	56,6	190,9
2020	15,6	16,4	22,5	18,3	18,2	22,9	22,3	43,5	101,7	190,4
2021	18,4	19,2	20,0	20,9	19,6	8,9	38,1	41,0	6,2	94,2
Норма	13,0	17,9	19,5	17,3	16,9	45	63	82	59	249

гербицидами Рауль, ВР (2 л/га) до появления всходов + Титус, СТС (0,04 л/га) по всходам картофеля; обработка гербицидами Артист, ВДГ (2,0 л/га) до появления всходов + Пантера, КЭ (1,5 л/га) в период вегетации картофеля.

Годы исследований по метеорологическим условиям вегетационного периода (май–август) различались между собой (табл. 1). В наибольшей степени отвечали биологическим требованиям культуры условия 2019 г., когда количество осадков за вегетацию составило 190,9 мм, а сумма эффективных температур – 2016 °С (ГТК = 0,91). Условия 2020 г. также оказались недостаточно влажными (ГТК = 0,85), однако они были менее благоприятными для картофеля, так как почти три четверти осадков (72 %) выпало в период с 21 июля по 31 августа. В 2021 г. период вегетации характеризовался как острозасушливый (ГТК = 0,39): при сумме эффективных температур 2415 °С осадков выпало всего 94,2 мм, что было в 2 раза меньше, чем в 2019 и 2020 гг.

При анализе изменений сегетального компонента агрофитоценозов во времени использовали экспериментальные данные опытов по изучению эффективности применения под картофель различных видов удобрений, проведенных в 1995–1997 гг. (*Васильев А. А. Влияние новых органических удобрений на урожайность и качество клубней картофеля: дис. … канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 1999. 175 с.*), и сидеральных предшественников, выполненных в 2008–2011 гг. [15].

Весной 2019 и 2020 гг. на опытном поле в начале полевого сезона ежегодно определяли запас сорняков в пахотном слое почвы. Количество семян многолетних сорняков в слое 0…30 см в среднем за годы исследований составляло 35,8 тыс. шт./га, а малолетних сорняков – 698,1 тыс. шт./га (при лабораторной всхожести семян от 25 до 60 %), что свидетельствует о достаточно высоком потенциале сегетального компонента. Значительную часть от общего количества семян сорняков составляли семена щирицы запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.) – 56,6 % и мари белой (*Chenopódium álbum L.*) – 11,5 % (при лабораторной всхожести 26 и 31 % соответственно).

Засоренность картофеля определялась метеорологическими условиями вегетационного периода, применением гербицидов и временем проведения учетов. Так, общая засоренность картофельного агроценоза в условиях обильных осадков во второй половине лета 2020 г. оказалась в среднем в 8,0 раз выше, чем в 2019 г. и в 9,1 раза выше, чем в условия 2021 г. В начале вегетации засоренность посадок картофеля во всех вариантах опыта была практически одинаковой, тогда как после применения гербицидов она существенно снижалась (табл. 2). Гербицидный эффект прослеживался вплоть до конца вегетационного периода.

Сегетальный компонент картофельного агрофитоценоза был в основном представлен многолетними корнеотпрысковыми (4 вида) и корневищными сорными растениями (2 вида), малолетними двудольными (9 видов) и однодольными сорняками (3 вида). Количественно преобладали ранние яровые сорняки: марь белая (*C. álbum* L.) и паслен чёрный (*Solánum nígrum* L.), доля которых в среднем по опыту составляла 45,5 и 16,0 % соответственно (на остальные виды приходилось от 7,6 до 0,09 %), тогда как по массе надземных вегетативных органов доминировали многолетние корнеотпрысковые сорняки: бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.) – 47,4 %, вьюнок полевой (*Convōlvulus arvēnsis* L.) – 15,6 % и осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) – 4,6 % (в сумме участие этой группы в фитомассе сорняков составило 67,6 %). Очевидно, что главной задачей парового поля (предшественника картофеля) должно стать подавление многолетних трудно искореняемых корнеотпрысковых сорняков с использованием агротехнических, биологических и химических методов.

Применение гербицидов Рауль, ВР (2 л/га) и Титус, СТС (0,04 л/га) в целом по опыту обеспечивало снижение засоренности картофеля многолетними сорняками в среднем на 33,5 %, а малолетними сорняками – на 69,0 %, по отношению к контролю. Использование гербицидов Артист, ВДГ (2,0 л/га) и Пантера, КЭ (1,5 л/га) снижало количество сорных растений на единице площади на 44,0 и 97,5 % соответственно. Сырая масса вегетативных органов многолетних сорняков при этом снижалась в 1,8 и 2,1 раза, а малолетних сорняков – в 2,3 и 3,2 раза соответственно.

Изученные схемы гербицидной защиты картофеля эффективно подавляли развитие большинства сорных растений, снижая их массу и количество на единице площади. Исключение составили многолетние сорняки вьюнок полевой (*C. arvēnsis* L.) и иван-чай (*Chamaenérion angustifolium* L. Holub), численность и фитомасса которых на 1 м² при использовании гербицидов практически не изменялась. Гербицидные обработки не влияли на численность аистника цикутового (*Erodium cicutarium* (L.) L'Her.), относящегося к группе зимующих сорняков,

2. Влияние гербицидов на сегетальную растительность в посадках картофеля (в среднем за 2019–2021 гг.), шт./м²

Сорняк	Вариант		
	контроль	Рауль (2 л/га) + Титус (0,04 л/га)	Артист (2,0 л/га) + Пантера (1,5 л/га)
Многолетние сорняки			
Всего ($НСР_{05}$ = 0,51)	10,09	7,56	7,01
Бодяк полевой	5,26	3,01	2,51
Осот полевой	0,39	0,27	0,16
Вьюнок полевой	2,92	3,13	2,87
Мышиный горошек	0,07	0,07	0,07
Пырей ползучий	0,09	0,02	0,02
Иван-чай	0,99	0,97	1,13
Одуванчик	0,37	0,09	0,25
Малолетние сорняки			
Всего ($НСР_{05}$ = 2,39)	55,98	33,20	28,35
Щетинник сизый	1,82	0,74	0,35
Просо куринное	2,00	1,29	1,07
Щирица запрокинутая	3,81	2,49	1,23
Марь белая	30,35	18,72	15,67
Паслен черный	11,75	5,41	5,62
Горец почечуйный	0,86	0,75	0,72
Пикульники	0,26	0,27	0,12
Редька дикая	2,75	1,48	1,62
Горчица полевая	0,53	0,31	0,20
Аистник цикутовый	1,73	1,67	1,68
Прочие	0,12	0,07	0,07

3. Результаты учета сегетальной растительности в посевах картофеля в зависимости от применения гербицидов, шт./м²

Вариант	Многолетние сорняки			Малолетние сорняки		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Без гербицидов (контроль)	2,47	25,50	2,28	21,63	131,8	14,53
Рауль, ВР (2 л/га) + Титус, СТС (0,04 л/га)	1,20	19,69	1,76	9,47	80,1	10,01
Артист, ВДГ (2,0 л/га) + Пантера, КЭ (1,5 л/га)	1,16	18,30	1,54	7,37	69,9	7,78
$НСР_{05}$	0,24	2,53	1,01	1,75	10,04	3,01

но в 1,2...1,5 раза снижали его массу. Применение гербицидов Рауль, ВР (2 л/га) и Титус, СТС (0,04 л/га) оказалось малоэффективным в борьбе с пикульниками, доминирующими видами среди которых были пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit L.*) и пикульник ладанниковый (*Galeopsis ladanum L.*), тогда как использование гербицидов Артист, ВДГ (2,0 л/га) и Пантера, КЭ (1,5 л/га) снижало их количество в 2,2 раза, а массу – в 1,8 раза, по сравнению с контролем.

В 2019 и 2021 гг. гербицидные обработки картофеля сдерживали развитие сегетального компонента в пределах экономического порога вредоносности (для многолетних сорняков – 4 шт./м², для малолетних – 12 шт./м²), тогда как в условиях 2020 г. влияние гербицидов было слабее и количество многолетних сорняков на 1 м² в 4,6...4,9 раза, а малолетних – в 5,8...6,8 раза превышало порог вредоносности (табл. 3).

Аналогичное снижение гербицидного эффекта в посевах яровой пшеницы в годы с избыточным увлажнением во второй половине вегетационного периода наблюдали О. В. Волынкина и Ю. В. Суркова в условиях Курганской области [16].

В условиях 2020 г. сегетальный компонент агрофитоценоза оказывал существенное негативное влияние на рост и развитие растений картофеля. При общей численности 1,57 млн. шт./га масса вегетативных органов сорняков на контроле достигала 5,98 т/га, что было практически сопоставимо с массой ботвы картофеля (6,71 т/га). Применение гербицидов снижало общую засоренность полей: в варианте Рауль (2 л/га) и Титус (0,04 л/га) – до 1,00 млн. шт., а в варианте Артист (2,0 л/га) и Пантера (1,5 л/га) – до 0,88 млн. шт./га. Сырая масса сорных растений в расчете на 1 га при этом снижалась до 3,41 и 2,79 т/га, а доля сорного компонента в общей биомассе агрофитоценоза уменьшалась с 47,1 % (на контроле) до 30,4 и 25,7 % соответственно.

Улучшая фитосанитарное состояние агроценоза, применение гербицидов в целом по опыту оказывало существенное влияние на продуктивность картофеля. Поскольку главной целью выступало производство элитного семенного материала, в опыте проводили раннее (10...15 августа) удаление ботвы, в связи с чем урожайность клубней оказалась сравнительно не высокой, однако это позволило получить высокий выход клубней семенной фракции: на контроле – 70,9 %, в варианте применения гербицидов Рауль (2 л/га) и Титус (0,04 л/га) – 69,4 %, Артист (2,0 л/га) и Пантера (1,5 л/га) – 69,2 % (табл. 4).

4. Продуктивность картофеля в зависимости от применения гербицидов в условиях Челябинской области (2019–2021 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га				Семенная продуктивность, тыс. клубней/га			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
Без обработок (контроль)	16,78	19,50	16,50	17,59	224,0	128,9	88,3	147,0
Рауль, ВР (2 л/га) + Титус, СТС (0,04 л/га)	20,42	29,18	21,11	23,57	277,4	155,3	170,8	201,1
Артист, ВДГ (2,0 л/га) + Пантера, КЭ (1,5 л/га)	22,51	34,27	20,68	25,82	293,1	251,5	132,6	225,7
$НСР_{05}$	2,69	2,75	2,85	1,67	31,4	36,7	34,1	37,7

Применение гербицидов Рауль, ВР (2 л/га) и Титус, СТС (0,04 л/га) обеспечивало увеличение урожайности клубней картофеля в среднем на 5,98 т/га, а гербициды Артист, ВДГ (2,0 л/га) и Пантера, КЭ (1,5 л/га) – на 8,23 т/га или соответственно на 34,0 и 46,8 %, по отношению к контролю. Семенная продуктивность при этом увеличивалась на 37 и 53 %.

Биохимический анализ показал, что качество клубней картофеля в результате использования гербицидов существенно не изменяется. Тем не менее, можно отметить увеличение сбора крахмала с единицы площади в вариантах с гербицидной обработкой на 0,92...1,19 т/га, или на 30,0...38,9 %, по отношению к контролю (табл. 5).

Анализ структуры засоренности агрофитоценозов картофеля в опытах института в лесостепной зоне Челябинской области за период 1995–2021 гг. выявил существенное изменение сегетального компонента в сторону увеличения встречаемости злостных, трудно искореняемых видов. Так, если в 1995–1997 гг. количество многолетних сорняков в контрольных вариантах опытов составляло 2,37 шт./м², а в 2009–2011 гг. – 2,55 шт./м², то в 2019–2021 гг. оно увеличилось до 10,08 шт./м² (в 4,2 раза). Фитомасса многолетних сорняков в посадках картофеля возросла с 25,2 г/м² в 1995–1997 гг. до 35,8 г/м² в 2009–2011 гг. и до 216,9 г/м² в нашем опыте (в 8,6 раза). Доля бодяка полевого, обладающего мощной и глубоко проникающей корневой системой, в структуре засоренности по количеству сорняков возросла за это время в 1,4 раза (с 2,7 до 8,0 %), а по зеленой массе – в 4,8 раза (с 10,5 до 50,2 %). Количество малолетних сорняков в посадках картофеля в 1995–1997 гг. составляло 21,29 шт./м², в 2009–2011 гг. – 21,93 шт./м², а в 2019–2021 гг. – 55,98 шт./м² (то есть возросло в 2,6 раза), тогда как фитомасса малолетних сорных растений уменьшилась с 62,9 г/м² в 1995–1997 гг. до 31,5 г/м² в 2019–2021 гг. (в 2,0 раза). Если в 1995–1997 гг. малолетние сорные растения преобладали как по количеству (89,5 %), так и по массе (71,4 %), то сегодня в количественном выражении доля малолетних сорняков составляет 84,7 %, а по фитомассе – лишь 12,7 %. Причиной такой тенденции, по мнению ряда исследователей, может выступать как изменение климата [17], так и переход к поверхностным системам обработки почвы и изменение структуры севооборотов (использование севооборотов с короткой ротацией, насыщение их картофелем и др.) [18, 19].

Таким образом, в составе сорного компонента картофельного агроценоза количественно преобладают яровые малолетние сорняки марь белая и пасленчёрный, доля которых в общей засоренности составляет 45,4 и 15,7 % соответственно, тогда

5. Биохимический состав клубней картофеля в зависимости от применения гербицидов (в среднем за 2019–2021 гг.)

Вариант опыта	Сухое вещество, %	Крахмал		Нитраты, мг/кг
		%	т/га	
Без обработок (контроль)	22,36	17,45	3,06	30,9
Рауль, ВР (2 л/га) + Титус, СТС (0,04 л/га)	21,88	16,98	3,98	33,0
Артист, ВДГ (2,0 л/га) + Пантера, КЭ (1,5 л/га)	21,58	16,73	4,25	31,0
$НСР_{05}$	0,83	0,79	0,26	4,6

как по массе надземных вегетативных органов наибольшую вредоносность имеют многолетние корнеотпрысковые сорняки бодяк и вьюнок полевой, на долю которых приходится 82,1 % от общей массы сорняков.

За последние 25 лет структура сегетального компонента картофельных агрофитоценозов изменилась в сторону увеличения встречаемости наиболее вредоносных, трудно искореняемых видов. Количество многолетних сорняков на единице площади с 1995 до 2021 гг. возросло в 4,2 раза, а их фитомасса – в 8,6 раза. В 1995–1997 гг. малолетние сорняки преобладали как по количеству (89,5 %), так и по массе (71,4 %), а в 2019–2021 гг. в количественном выражении доля малолетних сорняков снизилась до 84,7 %, а по фитомассе – до 12,7 %.

Довсходовое внесение гербицидов Рауль, ВР (2 л/га) и Артист, ВДГ (2,0 л/га) и повсходовое применение гербицидов Титус, СТС (0,04 л/га) и Пантера, КЭ (1,5 л/га) подавляет развитие сегетальной растительности в 1,6...1,9 раза, по сравнению с контролем. Это обеспечивало в 2019 и 2021 гг. уменьшение засоренности картофеля ниже экономического порога вредоносности, тогда как в условиях 2020 г., когда три четверти осадков выпало во второй половине вегетации, гербицидный эффект заметно снижался.

Улучшая фитосанитарное состояние агроценоза, гербицидные обработки обеспечивали достоверное повышение урожайности клубней на 5,98...8,23 т/га (34...47 %) и семенной продуктивности картофеля сорта Спиридон на 54,1...78,7 тыс. шт./га (37...53 %), по сравнению с контролем. Качество клубней при этом изменялось несущественно.

Литература

1. Oerke E.-C. Crop losses to pests // Journal of Agricultural Science. 2006. Vol. 144 (1). P. 31–43.

2. 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.

3. Спиридонов Ю. Я. Методические основы изучения сорных растений // Агрохимия. 2007. № 3. С. 68–77.

4. Гаспарян И. Н. Влияние технологий возделывания картофеля с использованием декапитации на плотность и засоренность // Плодородие. 2016. № 1 (88). С. 27–29.

5. Шашкаров Л. Г., Самаркин А. А. Влажность почвы, динамика элементов питания и засоренность посадок в зависимости от расчетных доз удобрений, глубины посадки и подготовки клубней к посадке // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 65–70. doi: 10.18286/1816-4501-2019-2-65-70.

6. Васильев А. А., Дергилева Т. Т., Глаз Н. В. Фитосанитарное состояние картофеля в Челябинской области // Защита и карантин растений. 2017. № 6. С. 14–17.

7. Малюга А. А., Чуликова Н. С. Роль предшественников и минеральных удобрений в патогенезе ризоктониоза картофеля и продуктивности культуры в условиях Западной Сибири // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2020. Т. 58. № 1. С. 42–54. doi: 10.29235/1817-7204-2020-58-1-42-54

8. Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние системы химической защиты растений на продуктивность, фитосанитарное состояние и качество урожая картофеля в условиях красноярской лесостепи // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 6. С. 59–62.

9. Накаева А. А., Оказова З. П. Флористический состав сорных растений посевов пропашных культур лесостепной зоны Чеченской Республики // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 210.

10. Пилипова Ю. В., Шалдяева Е. М. Мониторинг вредных организмов как основа фитосанитарной оптимизации агроэкосистем картофеля // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 1 (23). С. 42–50. doi: 10.31677/2311-0651-2019-23-1-42-50.

11. Факторы индукции супрессивности почвы агроценозов / Е. Ю. Торопова, М. П. Селюк, О. А. Казакова и др. // Агрохимия. 2017. № 4. С. 51–64.

12. Токарева Н. В., Суров В. В., Чухина О. В. Вынос элементов питания сорной растительностью полевого севооборота при применении удобрений и гербицидов в Вологодской области // Агрохимия. 2020. № 7. С. 76–82. doi: 10.31857/S0002188120050154.

13. Курдюкова О. Н., Тыщук Е. П. Эффективность механических и интегрированных систем контроля сорняков в посадках картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 88–91. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10318.

14. Полин В. Д., Смелкова И. А. Изменение сорного компонента под действием ресурсосберегающих систем обработки почвы в зернопропашном севообороте и методы борьбы с ним // Земледелие. 2015. № 8. С. 29–32.

15. Васильев А. А. Влияние сидератов на фитосанитарное состояние агроэкосистем картофеля // Пермский аграрный вестник. 2014. № 3 (7). С. 3–10.

16. Волынкина О. В., Суркова Ю. В. Засоренность посевов яровой пшеницы в зависимости от агротехнологии в Курганской области // Агрохимия. 2019. № 2. С. 74–80. doi: 10.1134/S0002188119020157.

17. Реакция сорного компонента агрофитоценозов на изменение климата / Е. И. Кошкин, И. В. Андреева, Г. Г. Гусейнов и др. // Агрохимия. 2020. № 11. С. 83–90. doi: 10.31857/S000218812011006X.

18. О совершенствовании мер борьбы с многолетними сорными растениями / Ю. А. Миренков, В. Р. Кажарский, А. В. Папсуев и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 68–73.

19. Чуманова Н. Н. Оценка влияния предшественников на сорный компонент агрофитоценоза // Вестник Кемеровского государственного сельскохозяйственного института. 2014. № 5. С. 78–83.

Influence of herbicides on the segetal component and potato yield in the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region

A. A. Vasiliev, A. K. Gorbunov, D.A. Boboev, N. V. Glaz
Ural Federal Agrarian Scientific Center, Ural branch, Russian Academy of Sciences, ul. Glavnaya, 21, pos. Istok, Ekaterinburg, 620061, Russian Federation

Abstract. *The purpose of the work was to study the effectiveness of herbicidal treatment of potatoes. The studies were carried out in 2019–2021 on leached chernozems of the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region. The design of the field experiment involved the study of the following treatments: without herbicides (control); treatment with herbicides Raul AS (2 L/ha) before germination + Titus DFS (0.04 L/ha) for potato seedlings; treatment with herbicides Artist WDG (2.0 L/ha) before germination + Pantera EC (1.5 L/ha) during the growing season. The soil of the experimental plot was leached medium loamy chernozem with the content of humus of 5.3±0.2%, easily hydrolyzable nitrogen – 171.7±14.7 mg/kg, mobile phosphorus – 55.6±24.5 mg/kg, mobile potassium – 191.9±69.0 mg/kg, pH value was 4.75+0.19 units. The use of herbicides Raul AS (2 L/ha) and Titus DFS (0.04 L/ha) reduced the total contamination of potatoes 1.6 times, and herbicides Artist WDG (2.0 L/ha) and Pantera EC (1.5 L/ha) reduced it 1.9 times, compared with the control without herbicide treatments. The mass of aboveground vegetative organs of weeds decreased 1.8 and 2.2 times, respectively. In 2019 and 2021 the use of herbicides kept the weed component of the agrocenosis within the economic threshold of harmfulness, whereas under the conditions of heavy precipitation in the second half of the growing season of 2020, the herbicidal effect of the preparations significantly decreased, and the infestation of potatoes with perennial weeds was 4.6–4.9 times higher than permissible values, annual and biennial weeds – 5.8–6.7 times higher. Improving the phytosanitary condition of the agrocenosis, herbicide treatment in general provided a significant increase in the yield of tubers (by 5.98–8.23 t/ha) and potato seed productivity (1.4–1.5 times). The content of dry matter, starch and nitrates in the tubers did not change significantly.*

Keywords: *potatoes (Solanum tuberosum L.); weeds; herbicides; productivity; seed productivity.*

Author Details: *A. A. Vasiliev, D. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: kartofel_chel@mail.ru); A. K. Gorbunov, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; D.A. Boboev, Sc. (Agr.), junior research fellow; N. V. Glaz, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow.*

For citation: *Vasiliev AA, Gorbunov AK, Boboev DA, et al. [Influence of herbicides on the segetal component and potato yield in the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region]. Zemledelie. 2022;(3):42-5. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-3-42-45.*

ЭСПЕРО ЕВРО, МД не оставит долгоносикам шанса

Сахарная свёкла – одна из самых рентабельных культур. На протяжении 20 лет её площади в РФ держатся на уровне 1 млн га при постоянном росте урожайности. За продуктивность и высокую рентабельность этой культуры аграрию приходится платить существенными вложениями на этапе возделывания. Сегодня одной из масштабных угроз для корнеплода стало распространение насекомых-вредителей. Наибольшую угрозу сахарной свёкле, особенно в насыщенных севооборотах Центрального Черноземья, представляют долгоносики: свекловичный и долгоносик-стеблеед. Борьба с ними осложняется фактором резистентности к существующим инсектицидам. «Щёлково Агрохим» предлагает решение проблемы – новый высокоэффективный инсектицид в масляной формуляции для защиты сахарной свёклы от долгоносиков ЭСПЕРО ЕВРО, МД.

Применение высокоэффективного инсектицида ЭСПЕРО ЕВРО, МД поможет защитить ваши поля от обыкновенных долгоносиков и долгоносиков-стеблеедов

Плата за «минималку»

Сахарной свёкле угрожают многие вредители. В числе наиболее опасных – свекловичный (обыкновенный) долгоносик и долгоносик-стеблеед.

Обыкновенный долгоносик *(Bothynoderes punctiventris Germ.)* – это серовато-бурый жук с длиной тельца 12-16 мм. Личинки его белые и с бурой головкой. Из зимовки жуки выходят в апреле – середине мая, а максимальной активности достигают при температуре воздуха +25 °С. Весной жуки сначала питаются сорняками, затем переходят на молодые посевы свёклы, где, допитавшись, самки откладывают яйца в почву на глубину 1 см. Со второй половины мая из яиц выходят личинки, которые питаются корешками маревых сорняков и сахарной свёклы. В конце июля – середине августа появляется молодое поколение жуков, уходящих на зимовку в почву на глубину до 25 см.

Обыкновенный долгоносик – опасный вредитель. Жуки объедают вилочку, перекусывают стебелёк, тем самым уничтожая растение. При появлении листочков объедают и их. Повреждения выглядят как зазубрины по краям листа. Особенно опасны до отрастания второй-четвёртой пары листьев. Кроме маревых, жуки питаются растениями из семейства амарантовых, портулаковых и других. Личинки повреждают корни – вначале мелкие боковые, а потом и главный корень. Это вызывает изреживание посевов и увядание развитых растений.

Эффективность мер борьбы сильно зависит от того, соблюдается ли в хозяйстве агротехника: 4-5-польный севооборот, глубокая вспашка после уборки культуры, пространственная изоляция 2-3 км от посевов прошлого года. Из химических мер оправданными являются оперативные краевые обработки полей инсектицидами в фазу «вилочка – развитые семядоли», когда жуки массово мигрируют с мест зимовки на свекловичные поля и начинают питаться по краям поля. ЭПВ жуков в этот период составляет 0,3-0,5 экз./м².

Обыкновенный долгоносик, жук

Долгоносик-стеблеед *(Lixus subtilis Sturm)* – жук размером 8-12 мм с узким продолговатым тельцем рыжеватого оттенка. Личинка жука имеет размеры 10-13 мм. С конца апреля вышедшие из зимовки жуки питаются сорняками и всходами свёклы. В конце мая – начале июня самка откладывает яйца в черешки листьев сахарной свёклы или стебли. В них она выгрызает отверстия – места кладки на растениях можно обнаружить по характерным разрастаниям ткани, наплывам. Затем из яиц выходят личинки, которые наносят основной вред растению. Они проделывают ходы в стеблях и черешках, выгрызая внутренние ткани. В результате листья отмирают, стебли переламываются и высыхают, что значительно снижает урожайность.

В настоящее время, по данным учёных, идёт взрывной рост численности долгоносиков на сахарной свёкле. Этому способствуют короткие севообороты и безотвальная обработка почвы. По мнению

Жуки обыкновенного долгоносика повреждают молодые побеги сахарной свёклы

Основной вред посевам корнеплода в случае с долгоносиком-стеблеедом наносят личинки, они поедают стебли и листья

В статье использованы материалы из приложения к журналу «Защита и карантин растений» № 2, 2021 г.

специалистов, особенно остро эта проблема стоит для Белгородской, Курской и Орловской областей, где основные площади сахарной свёклы сконцентрированы в свеклосахарных холдингах, доля корнеплода в севооборотах порой превышает треть от общей площади пашни.

Наиболее эффективными методами естественного снижения численности долгоносика являются 4-5-польный севооборот и пространственная изоляция полей, по данным специалистов. Однако из-за перенасыщения севооборотов сахарной свёклой чаще используется трёхпольный севооборот (озимая пшеница – сахарная свёкла – яровые), а корнеплод возвращается на поле уже через 2-3 года, а не через 5-6 лет, как рекомендовано. С учётом того, что многие агропредприятия переходят на минимальные технологии обработки почвы, исключая глубокую осеннюю вспашку, это приводит к многократному увеличению числа долгоносиков на полях с сахарной свёклой. Жуки долгоносиков зимуют в глубоких слоях почвы, и отсутствие отвальной обработки позволяет им беспрепятственно пережить холода. В Белгородской, Курской и Орловской областях наблюдаются увеличение численности свекловичных долгоносиков и проявление их резистентности к инсектицидам. Для уничтожения вредителей требуется от двух до шести инсектицидных обработок, что вызывает резистентность насекомых к препаратам группы пиретроидов и на основе *имидаклоприда*.

ЭПВ обыкновенного долгоносика на точном высеве: 0,3-0,5 жука/м², ЭПВ долгоносика-стеблееда – 0,2-0,3 жука/м².

Посевы сахарной свёклы, повреждённые личинками долгоносика-стеблееда

Удар по вредителям

Наряду с агротехнологическими методами борьбы с долгоносиками на сахарной свёкле (соблюдение севооборота, осенняя вспашка, уничтожение сорняков), одной из эффективных мер является обработка инсектицидами. «Щёлково Агрохим» предлагает проверенные препараты с высокой инсектицидной активностью.

Против долгоносика-стеблееда компания рекомендует использовать высокоэффективный комбинированный инсектицид **ЭСПЕРО, КС** *(имидаклоприд + альфа-циперметрин)*. Против стеблееда и обычного долгоносика также работает комбинированный инсектоакарицид острого контактно-кишечного действия **КИНФОС, КЭ** *(диметоат + бета-циперметрин)*.

С долгоносиком-стеблеедом борется инсектицид системно-контактного действия **ИМИДОР, ВРК** *(имидаклоприд)*.

С обыкновенным долгоносиком можно справиться с помощью уникального комбинированного инсектоакарицида **ПИРЕЛЛИ, КЭ** *(хлорпирифос + бифентрин)*.

Новое оружие

В арсенале «Щёлково Агрохим» появилась ещё одна разработка, которая позволит контролировать численность долгоносиков на сахарной свёкле. Это **ЭСПЕРО ЕВРО, МД**, новый высокоэффективный инсектицид в масляной формуляции.

ЭСПЕРО ЕВРО, МД сочетает два действующих вещества с разным механизмом действия. *Ацетамиприд* оказывает быстрое контактно-системное действие. Он блокирует никотинзависимые рецепторы в нервной системе, нарушая передачу нервного импульса, в результате чего насекомое погибает от сильного нервного перевозбуждения. *Ацетамиприд* обеспечивает быстрый токсиче-

Рис. 1. Эффективность Эсперо Евро, МД в борьбе со свекловичным долгоносиком на сахарной свёкле. ВИЗР, Волгоградская обл., 2019 год. Средняя численность вредителя на шт./м² в контроле: на 3 день (■) – 3,3; на 7 день (■) – 3,7; на 14 день (■) – 2,9.

МЕРЫ БОРЬБЫ С ДОЛГОНОСИКАМИ НА САХАРНОЙ СВЁКЛЕ:

1. Использование насекомых-энтомофагов: это яйцеед ценокрепис, паразитические грибы, жужелицы, мертвоеды.
2. Глубокая вспашка свекловичного поля осенью после уборки урожая.
3. Уничтожение сорняков (семейства маревых, амарантовых, портулаковых и других).
4. Протравливание семян перед посевом.
5. Применение инсектицидов.

ский эффект и в то же время имеет длительное действие до четырёх недель.

Альфа-циперметрин обладает контактно-кишечным действием. Токсин также поражает ЦНС насекомых, нарушая проницаемость клеточных мембран и блокируя натриевые каналы. В результате отравления поражаются двигательные центры вредителей, проявляется сильное возбуждение, которое и убивает насекомое.

Сочетание действующих веществ помогает справиться с устойчивыми к другим инсектицидам популяциями долгоносиков.

Особое внимание при разработке препарата создатели уделили формуляции. **ЭСПЕРО ЕВРО, МД** выпускается в форме масляной дисперсии, которая наделяет инсектицид рядом преимуществ перед традиционными растворами. Масляная дисперсия лучше удерживается на листе и проникает внутрь даже через восковой налёт. Образующаяся на листе масляная плёнка устойчива к осадкам и высокой температуре, за счёт чего действие активных веществ сохраняется долгое время, а системный компонент *ацетамиприд* легче проникает внутрь растения.

Рис. 2. Эффективность Эсперо Евро, МД в борьбе с долгоносиком-стеблеедом на сахарной свёкле. ВИЗР, Волгоградская обл., 2019 год. Средняя поврежденность растений в контроле – 11,3%. Эталон: Протеус, МД 1,0 л/га

Доказано на испытаниях

ЭСПЕРО ЕВРО, МД против свекловичных долгоносиков применяется в норме расхода 0,2-0,3 л/га при объёме рабочей жидкости 100-200 л/га для опрыскивания всходов. Рекомендуется двукратная обработка со сроком ожидания 14 дней. Сроки ожидания выхода для ручных (механизированных) работ после опрыскивания – 3 дня. Для борьбы с долгоносиком-стеблеедом препарат применяют из расчёта 0,4-0,5 л/га при расходе рабочей жидкости 200-300 л/га. За сезон рекомендуется (строго) всего две обработки этим препаратом (опрыскивание в период вегетации) со сроком ожидания 14 дней.

По результатам испытания Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) в Волгоградской области в 2019 году снижение численности вредителя относительно контроля при использовании **ЭСПЕРО ЕВРО, МД** в норме расхода 0,3 л/га на 3 день после применения составило 98,7%, на 14-й – 92,8%. При норме 0,2 л/га численность вредителя снизилась на 94,4 и 85,8% соответственно (Рис. 1).

Испытания препарата ВИЗР в Волгоградской области в 2019 году показали, что через 20 суток после использования **ЭСПЕРО ЕВРО, МД** в норме 0,5 л/га повреждённость стеблеедом снизилась на 91,2%, в норме 0,4 л/га – на 86,8%, в контроле (обработка эталоном) – на 89%. Отсюда можно сделать вывод, что масляная формуляция нового препарата позволяет повысить защитный эффект по сравнению с другими инсектицидами (Рис. 2).

Елена Нестеренко

«ЭкоНива-Семена»: стратегия хорошего урожая начинается с семян

Семеноводческое направление группы компаний «ЭкоНива» более 23 лет успешно работает на российском рынке семян. Они знают, как повысить доход сельхозпроизводства, предлагая ценные сорта, качественные семена, инновационные технологии.

Залог высоких урожаев – хорошие качественные семена. Те, кто давно ведут партнерскую деятельность с компанией «ЭкоНива-Семена» говорят об этом с уверенностью. Компания предлагает российским аграриям только лучшую мировую и отечественную генетику, которая испытывается на собственных полях холдинга. Объем производства сертифицированных семян за последние три года вырос вдвое.

Развитие собственной селекции для компании поставлено в приоритет. В связи с чем 2018 году на базе хозяйства «Защитное» создан Центр селекции и первичного семеноводства с развернутой полномасштабной селекционной программой по озимой пшенице. В 2019 году открыт собственный селекционный проект по сое.

В Центре селекции компании «ЭкоНива» работают высококвалифицированные специалисты в области селекции и семеноводства, в том числе 7 кандидатов наук. Среди важных конкурентных преимуществ структуры – высокая техническая оснащенность современной специализированной мелкоделяночной техникой, наличие теплицы для эффективной гибридизации, камера искусственной проморозки озимых культур, контрольно-семенная лаборатория. Также ведутся работы на делянках с применением GPS-навигации.

За время работы селекцентра «ЭкоНивы» 8 сортов уже внесены в Государственный реестр селекционных достижений - 5 сортов озимой пшеницы и 3 сорта сои.

Стоит отметить, что потенциал и хозяйственно-полезные признаки сортов «ЭкоНивы» высоки и обоснованы. При среднем уровне энергозатрат на производство единицы продукции сорта способны показать максимальную эффективность. Важно, что сорта создаются в России и, в первую очередь, для российских условий. В селекционном процессе используются собственные теоретические разработки по моделям сортов, созданию генетического разнообразия, методам отбора в гибридных популяциях.

Пшеница мягка озимая ЭН Цефей

В генотипе сорта объединены адаптивные свойства, высокая стабильная урожайность и хорошие продовольственные показатели качества зерна. ЭН Цефей внесен в Государственный Реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2021 г. Сорт среднеспелый и среднерослый, универсального типа использования, продовольственного направления, формирует высококачественное зерно, соответствующее показателям ценных пшениц. Потенциальная урожайность 11,0 т/га, максимальная 10,7 т/га (Щигровский ГСУ 2017 г.). Сорт универсален для выращивания по разным предшественникам на средних и высоких агрофонах. ЭН Цефей обладает высокой морозозимостойкостью, устойчив к полеганию, отличается высокой пластичностью и стабильными урожаями в различных агроклиматических условиях. Наивысшая отдача и реализация потенциала урожайности при интенсивных технологиях.

Пшеница мягкая озимая ЭН Альбирео

Сорт внесен в Государственный Реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2021 г. Среднеспелый, высота растений 85 см, интенсивного типа использования. Потенциальная урожайность 12,0 т/га, максимальная 11,7 т/га (Щигровский ГСУ, 2017 г.). Сорт

засухоустойчив, потенциал раскрывается на высоком агрофоне. ЭН Альбирео обладает высокой морозозимостойкостью, устойчив к полеганию и основным распространенным заболеваниям в полевых условиях, по качеству зерна соответствует показателям ценных пшениц, отличается высокой пластичностью и стабильными урожаями в различных агроклиматических условиях. Имеет генетически обусловленный высокий нижний порог урожайности, реагирует на высокий агрофон резким повышением продуктивности.

Пшеница мягкая озимая ЭН Тайгета

Сорт внесен в Государственный Реестр селекционных достижений Российской Федерации в 2021 г. Среднеспелый сорт, интенсивного типа использования, пригоден для выращивания по различным предшественникам. Генетический потенциал урожайности ЭН Тайгета 12,0 т/га, максимальная урожайность 11,8 т/га (Щигровском ГСУ, 2017 г.). Высота растений 81 см, устойчив к полеганию, Сорт устойчив к ледяной корке, основным распространенным заболеваниям в полевых условиях, обладает высокой продуктивной кустистостью и озерненностью колоса. В генотипе сорта объединены трудно сочетаемые хозяйственно-полезные признаки, такие как морозозимостойкость, засухоустойчивость, высокие продуктивность и качество зерна. Все это позволяет в жестких условиях выращивания ряда регионов РФ формировать стабильно высокие урожаи продовольственного зерна.

EKONIVA
ЭКОНИВА
СЕМЕНА

Отдел продаж
ООО «ЭкоНива-Семена»
8-800-700-97-51
semena@ekoniva-apk.com
www.ekonivasemena.ru

Global Fresh
MARKET

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ B2B ВЫСТАВКА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И УЧАСТНИКОВ РЫНКА ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ «GLOBAL FRESH MARKET: VEGETABLES & FRUITS»

7–10 НОЯБРЯ 2022

МОСКВА, ВК ГОСТИНЫЙ ДВОР

Единственная на российском рынке международная выставка-форум по производству, доработке, хранению, логистике, маркетингу и продажам плодоовощной продукции, демонстрирующая инновации, продукты и услуги во всей производственной цепочке от поля до прилавка

СВЕЖИЕ ПРОДУКТЫ

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УСЛУГИ

ЛОГИСТИКА

Организатор: Национальный союз производителей овощей

Официальная поддержка: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

BUSINESS@GFMEXPO.COM · WWW.GFMEXPO.COM 18+

ISSN 0044-3913. Земледелие. 2022. № 3.1 - 48. Индекс 70329.