1.2020

ISSN 0044-3913

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Фото:
разрез соевого боба,
электронная микрофотография

Соединяем
НАНОзащиту семени и проростка

Депозит, МЭ

+ 40 г/л флудиоксонила
+ 40 г/л имазалила
30 г/л металаксила

Специализированный фунгицидный протравитель в инновационной формуляции для обработки семян сои, гороха, нута и клубней картофеля

- Контроль наиболее широкого спектра патогенов и максимально быстрый защитный эффект
- Направленное действие против семенной и почвенной инфекций
- Стоп-эффект фузариозу на протяжении всего периода вегетации
- Формирование мощной корневой системы и активное стимулирование роста вегетативной массы, начиная с ранних фаз развития культуры
- Сдерживание развития пероноспоры и корнееда
- Полное отсутствие ретардантного эффекта

Культуры применения: соя, горох, нут, картофель*

*на стадии регистрации

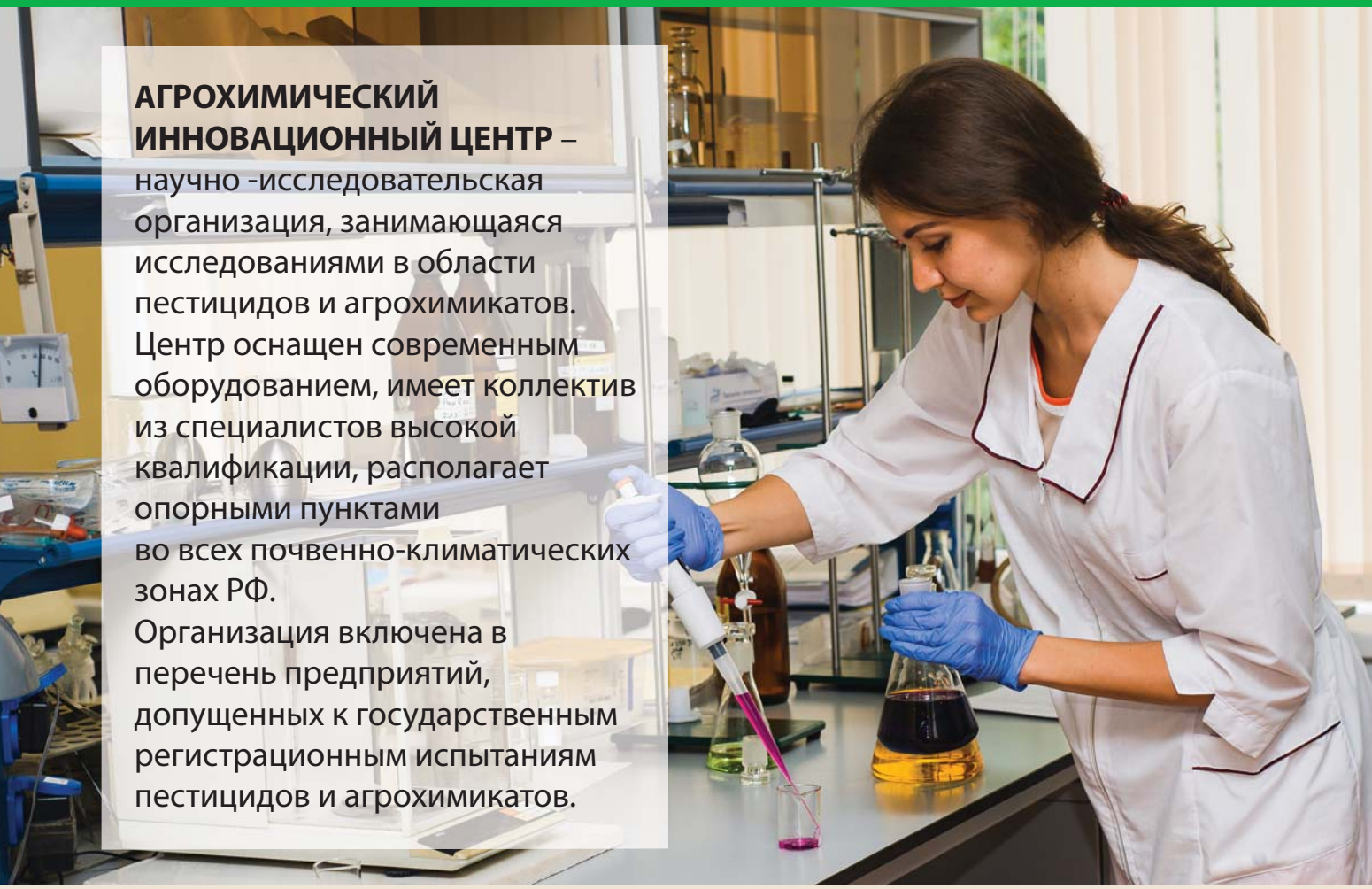
www.betaren.ru

ЩЕЛКОВО АГРОХИМ

AGROW AWARDS НОМИНАНТ

Реклама

АГРОХИМИЧЕСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА



АГРОХИМИЧЕСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР – научно -исследовательская организация, занимающаяся исследованиями в области пестицидов и агрохимикатов. Центр оснащен современным оборудованием, имеет коллектив из специалистов высокой квалификации, располагает опорными пунктами во всех почвенно-климатических зонах РФ.
Организация включена в перечень предприятий, допущенных к государственным регистрационным испытаниям пестицидов и агрохимикатов.

АИЦ
АГРОХИМИЧЕСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР

НАШИ ВОЗМОЖНОСТИ

- ☑ **РАЗРАБОТКА РАБОЧИХ ПРОГРАММ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И АГРОХИМИКАТОВ.**
- ☑ **ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРТНЫХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ.**
- ☑ **АНАЛИЗ ПРЕПАРАТИВНЫХ ФОРМ.**
- ☑ **ПРОВЕДЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПЕСТИЦИДОВ И АГРОХИМИКАТОВ.**
- ☑ **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ В РАСТЕНИЯХ И УРОЖАЕ.**
- ☑ **ВЫПУСК СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПЕСТИЦИДОВ.**

+7 (495) 610–71–45 МОСКВА, КОСТЯКОВА 12 INFO@ANO-AIC.RU

1.2020 ЯНВАРЬ

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — **NATURE-LIKETECHNOLOGIES**

Д. Г. Поляков, Ф. Г. Бакиров. Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта 3
D. G. Polyakov, F. G. Bakirov. Organic mulch and *No-till* in agriculture: a review of international experience

ПЛОДОРОДИЕ — **FERTILITY**

Р. Ф. Байбеков, К. П. Хайдуков, А. А. Коваленко, Т. М. Забугина. Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте 8
R. F. Baibekov, K. P. Khaidukov, A. A. Kovalenko, T. M. Zabugina. Qualitative composition of organic matter in sod-podzolic soil in a long field experiment

К. А. Никульчев, Е. В. Банецкая. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои 11
K.A. Nikulichev, E.V. Banetskaya. Influence of crop rotation cultures on microbiological activity, soil agrophysical properties and soybean yield Properties and Soybean Yield

И. А. Самофалова. Диагностика эродированности почв с использованием современных подходов к интерпретации параметров гранулометрического состава 14
I. A. Samofalova. Diagnosis of soil's erosion index using modern approaches to the interpretation of data on the granulometric composition

ПОЛЕВОДСТВО И ЛУГОВОДСТВО — **FIELD CROPS**

Л. К. Бутковская, Д. Н. Кузьмин, В. В. Казанов. Влияние удобрений и сроков посева на формирование элементов структуры продуктивности овса 20
L. K. Butkovskaya, D. N. Kuz'min, V. V. Kazanov. Effect of fertilizers and sowing time on the formation of structure elements of oat productivity

В. В. Епифанцев, А. Н. Панасюк, Я. А. Осипов, Ю. А. Вайтехович, С. В. Андриенко. Влияние гербицидов на видовой состав сорняков и продуктивность посевов сои 22
V. V. Epifantsev, A. N. Panasyuk, I. A. Osipov, Y. A. Vaitekhovich, S. V. Andrienko. Influence of herbicides on the weeds species composition and productivity of soybean crops

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:
С. А. Балюк, академик НААН Украины, доктор сельскохозяйственных наук, Украина
А. Н. Власенко, академик РАН и НА Монголии, доктор сельскохозяйственных наук
Н. Г. Власенко, академик РАН, доктор биологических наук
А. А. Завалин, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук
А. Л. Иванов, академик РАН, доктор биологических наук
В. А. Иванов, почетный член редколлегии, главный редактор журнала «Земледелие» в 1978-2001 гг.
А. Н. Каштанов, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук
В. И. Кирюшин, академик РАН, доктор биологических наук
В. В. Коломейченко, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных 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
А. С. Сапаров, академик АСХН Республики Казахстан, доктор сельскохозяйственных наук, Республика Казахстан
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 «МЕДИАКОЛОР» 105187, г. Москва, ул. Вольная, д. 28, строение 10
Тел.: +7 (495) 786-77-14

Подписано в печать 14.01.20
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”. 2020.

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

В. Д. Соловиченко, Е. В. Навольнева, И. В. Логвинов. Продуктивность чернозема типичного в зависимости от факторов земледелия в юго-западной части ЦЧЗ 27

И. И. Гуреев. Методологические основы оптимизации ресурсов в производстве продукции земледелия 30

В. П. Якушев, В. В. Якушев, Д. А. Матвеенко. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии 33

V. D. Solovichenko, E. V. Navolneva, I. V. Logvinov. Efficiency of typical chernozem depending on farming factors in the southwest of the Central Chernozem zone

I. I. Gureev. Methodological bases of resource optimization in agricultural production

V. P. Yakushev, V. V. Yakushev, D. A. Matveenko. Intelligent systems for technology decision support in precision agriculture

ОБРАБОТКА ПОЧВЫ / SOIL CULTIVATION

Л. Н. Вислобокова, В. А. Воронцов, Ю. П. Скорочкин. Влияние основной обработки чернозёма типичного на урожайность культур севооборота 38

Я. З. Каипов, Р. Л. Акчурин, З. Р. Султангазин. Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала 40

С. В. Усенко, В. И. Усенко, А. А. Гаркуша, Т. А. Литвинцева, А. А. Щербакова. Отзывчивость овса на удобрения в зависимости от обработки почвы и уровня защиты культур полевого севооборота в лесостепи Алтайского Приобья 44

L. N. Vislobokova, V. A. Vorontsov, Yu. P. Skorochkin. Influence of typical chernozem tillage on the productivity of crops

Ya. Z. Kaipov, R. L. Akchurin, Z. R. Sultangazin, A. H. Shakirzyanov. Impact of resource-saving treatments on agro-physical properties of ordinary chernozem and yield of spring wheat in the foothills steppe of the Southern Urals

S. V. Usenko, V. I. Usenko, A. A. Garkusha, T. A. Litvintseva, A. A. Shcherbakova. Responsiveness of oats to fertilizers depending on soil tillage and the level of plants protection in a field crop rotation in the forest-steppe of the Altai Ob Region

Уважаемые читатели!

В 2020 г. наш журнал будет, как и прежде, выходить 8 раз в год, в первый и второй месяцы каждого квартала. Наш подписной индекс в каталоге Роспечати 70329. 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: 10.24411/0044-3913-2020-10101
УДК 631.51

Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта*

Д. Г. ПОЛЯКОВ[1], кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (e-mail: electropismo@yandex.ru)
Ф. Г. БАКИРОВ[2], доктор сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией (e-mail: f.bakirov@mail.ru)
[1]Институт степи Уральского отделения РАН, ул. Пионерская 11, Оренбург, 460000, Российская Федерация
[2]Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, ул. Набережная, 29, Оренбург, 460014, Российская Федерация

Отказ от технологий возделывания культур, основанных на рыхлении почвы, и переход к природоподобным – мировая тенденция. Для успешного применения No-till обязательно наличие органической мульчи – аналога подстилки из мертвого опада степных растений. Цель обзора – анализ опыта использования органической мульчи для оценки возможности применения технологии No-till в Российской Федерации. Устойчивый эффект от использования этой технологии проявляется при накоплении мульчи определенной массы. Например, для влагосбережения наименьшая ее масса варьирует от 2 до 15 т/га. Дальнейшее увеличение количества мульчи способствует повышению содержания влаги в почве до определенного уровня. Снижение испарения благодаря этой агротехнологии позволяет сократить поливные нормы и бороться с засолением при орошении. С увеличением массы мульчи с 1...2 т/га до 8...10 т/га сокращаются эрозионные потери почвы. Вследствие затенения мульча подавляет рост сорняков – эффективное ее количество составляет 5...10 т/га. Мульча способствует росту содержания органического углерода в верхнем слое и улучшению агрофизических показателей почвы. Эффект технологии No-till проявляется не сразу, а через 4...10 лет, усиливаясь с годами. Почти в 50 % случаях почва остается уплотненной даже после продолжительного применения технологии. Отрицательные примеры использования No-till в большей степени связаны с неоптимальными параметрами органической мульчи, так как часто в опытах их количество зависит только от урожайности выращенных культур. Позитивность мульчирования несомненна. Однако освоение No-till сопряжено с некоторыми рисками. Поэтому залог успеха реализации такой технологии – определение оптимальных параметров мульчи для конкретных почвенно-климатических условий.

Ключевые слова: *органическая мульча, природоподобные технологии, No-till, влагосбережение, эрозия, орошение, гербициды, почвенный органический углерод.*

Для цитирования: *Поляков Д. Г., Бакиров Ф. Г. Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта // Земледелие. 2020. № 1. С. 3–7. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10101.*

Почву обрабатывают с целью создания благоприятных условий для произрастания сельскохозяйственных культур. Однако на пахотных угодьях степной зоны отмечают изменение свойств почвы в худшую сторону [1]. Обработка лишает ее подстилки, что снижает способность почвы противостоять воздействию разрушающих факторов среды [2].

Решение этой проблемы возможно путем создания и постоянного наличия на поверхности слоя органической мульчи, что характерно для почв черноземного почвообразования, которые покрыты подстилкой из мертвого опада степных растений. Этот принцип реализуется в технологии No-till, обеспечивающей постоянное и наименее затратное покрытие почвы слоем органической мульчи [3, 4, 5].

Под No-till сегодня в мире находится 125 млн га, что составляет 9 % от всех пахотных угодий. При этом 42 % площадей находится в Южной Америке, 35 % – в США и Канаде и 11,4 % – в Австралии и Новой Зеландии. На долю России приходится 5 млн га, или 3 % [6].

Несмотря на сравнительно небольшие площади, обрабатываемые по этой технологии в нашей стране, она вызывает научный и практический интерес в связи с экономической и экологической привлекательностью [7, 8, 9]. Существует мнение о завышенной эффективности и игнорировании отечественными исследователями отдельных отрицательных аспектов применения No-till [10]. Сложность объективной оценки этой технологии связана и с терминологической путаницей, когда нулевую обработку приравнивают к No-till. Между тем, нулевую обработку в севообороте применяют в чередовании с рыхлением, поэтому органическая мульча на поверхности почвы не накапливается. В No-till же основную обработку исключают, что способствует формированию подстилки. Кроме того, объективную оценку роли мульчи затрудняет малое количество исследований и небольшой срок полевых опытов.

Цель работы – обзор опыта использования органической мульчи, её влияния на свойства почвы, урожайность культур и оценка возможности применения технологии No-till в Российской Федерации.

Влагосбережение. Мульчирование соломой признано действенным способом повышения содержания почвенной влаги и снижения коэффициента водопотребления культур, что показано во всех анализируемых источниках, где она упоминается.

Так, в условиях семиаридного климата Турции перед осенней обработкой влажность почвы при вспашке и мелком рыхлении была ниже, чем при No-till, на 22,4 % и 12,8 % соответственно, а через 3 недели после обработки различия составили 21,1 % и 14,3 %. Это объясняют защитным действием мульчи против испарения и повышением коэффициента фильтрации почвы в 2,4 раза благодаря увеличению макропор за время проведения опыта (1999–2012 гг.) [11].

При нанесении мульчи влагосбережение отмечают сразу, как на обработанной, так и на необработанной почве. В серии опытов установлено, что содержание продуктивной влаги при No-till выше, чем при обработке почвы в 50 % случаев, одинаково – в

**Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды». № ГР АААА-А17-117012610022-5.*

35 % и ниже – в 15 %. Это объясняют улучшением агрофизических показателей почвы и ростом содержания органического вещества [6]. По мере наращивания массы мульчи происходит увеличение содержания влаги. Так, на Индийской зональной исследовательской станции (Пенджаб) установили, что увеличение проективного покрытия соломенной мульчи приводило к росту влажности почвы и снижению эрозионных потерь [12].

Влагосберегающая функция проявляется при накоплении определенной массы мульчи, характерной для конкретных почвенно-климатических условий. Например, в полузасушливых условиях юго-запада Испании при среднегодовой температуре 17,6 °С и сумме осадков 646 мм эффект проявился только когда она достигла 10…15 т/га [5]. Тогда как в штате Огайо (США) на участке со среднегодовой температурой 11 °С и годовой нормой осадков 932 мм устойчивый эффект влагосбережения отмечали уже при массе мульчи 2 т/га, который постепенно увеличивался до 8 т/га, после чего улучшения не наблюдали [4].

Органическая мульча позволяет накопить дополнительное количество влаги на парах. Например, в провинции Шенси (Китай) со среднегодовой температурой 11,9 °С и суммой осадков 539 мм закрытие паровых полей мульчей увеличило эффективность накопления влаги с 10…15 % до 35 %. Однако в самые жаркие периоды мульча не обеспечивала значительного снижения испарения [13].

Такая влагосберегающая функция органической мульчи – основание для её использования на засушливых территориях, включая степную зону Российской Федерации.

Защита почвы от эрозии. В условиях склоновых ландшафтов и ливневых осадков мульча увеличивает инфильтрацию, снижает поверхностный сток и эрозионные потери почвы [14]. В лабораторном опыте показано, что повышение проективного покрытия мульчи значительно снижает сток воды и смыв почвы. Противоэрозионная эффективность зависела не только от массы мульчи и уклона площадки, но и от гранулометрического состава почвы. Например, при уклоне 5° и осадках 90 мм/ч на пылеватом суглинке, иловатом суглинке и суглинке в варианте без мульчи сток за 1 ч составил 19,4; 44,6 и 38,8 мм соответсвенно. При массе мульчи 2 т/га он сократился до 11,5; 36,8 и 27,5 мм; 4 т/га – 2,0; 10,7 и 6,41 мм; 8 т/га – 1,1, 8,7 и 4,7 мм соответственно. Увеличение продолжительности опыта до 2 часов с той же интенсивностью дождя показало аналогичную тенденцию кроме варианта с иловатым суглинком, на котором удалось значительно снизить водный сток только при массе мульчи 8 т/га. Эрозионные потери плодородного слоя почвы находились в прямой зависимости от объема водного стока [15].

Способность мульчи повышать устойчивость почвы к ливневым осадкам показана в опыте, проведенном в условиях семиаридного климата Испании. При их интенсивности 65 мм/ч сток в контроле составил 25,54 мм/ч. В вариантах с массой мульчи 1, 5, 10 и 15 т/га величина этого показателя уменьшалась до 24,37; 10,16; 2,49 и 1,09 мм/ч соответственно [5].

Мульча усиливает противоэрозионную защиту и в комбинации с минимизацией обработки [5, 12]. В условиях семиаридного климата Северного Китая показано, что при No-till с увеличением массы мульчи и высоты стерни дефляционные потери почвы снижаются. Наиболее значимым фактором при этом признана мульча, второстепенным – стерня. Самые низкие эрозионные потери плодородного слоя почвы (0,1 т/га) отмечены при высоте стерни 31 см и массе мульчи 3,8 т/га, что на 88,25 % ниже незащищенной обработанной почвы [16].

Таким образом, для успешной борьбы с эрозией в каждой зоне необходимо определить оптимальную массу мульчи с учетом крутизны склона и свойств почвы.

Фитосанитарная функция. В дополнение к традиционным механическим методам борьбы с сорняками сегодня используют гербициды. Это расширило возможности защиты посевов и привело к снижению интенсивности обработки почвы (вплоть до полного отказа при No-till).

В то же время систематическое применение гербицидов может вызывать нежелательные последствия для здоровья человека [17, 18], биологических объектов, обитающих в водной среде [19] и появление резистентных сорняков [20]. Это способствовало интенсивному развитию органического земледелия, в котором борьбу с сорняками проводят безопасными методами [21].

В результате исследований, проведенных в этом направлении, в лабораторном опыте показано, что водные экстракты вегетативных частей озимой ржи, тритикале и ячменя подавляют рост таких сорняков, как *Echinochloa crus-galli и Setaria verticillata*. Наибольшую результативность обеспечил ячмень (сорт Athinaida) и тритикале (сорт Catria), водные экстракты из которых уменьшали массу проростков *Echinochloa crus-galli* на 69 и 54 %, *Setaria verticillata* – на 81 и 67 % соответственно. Полевой эксперимент с пожнивным посевом ячменя сорта Athinaida для формирования мульчи подтвердил результаты лабораторного опыта и позволил сократить количество сорняков, повысив урожайность кукурузы, по сравнению с контролем, на 45 %, что соответствовало урожайности агроценозов, обработанных гербицидами [22]. На участках с сохранением 100 % соломы риса в виде мульчи и ее запашки количество и биомасса сорняков снизились, а урожайность не изменилась [23].

Затеняющий эффект мульчи усиливается при увеличении ее проективного покрытия и массы и может значительно варьировать в зависимости от условий. Например, при выращивании риса в тропиках для успешной борьбы с сорняками необходимо не менее 10 т/га соломенной мульчи. Причем во влажный год такое количество соломы снижало засоренность посевов на 60 %, в сухой – на 78 % [24]. В условиях типичного средиземноморского климата для контроля сорняков было достаточно 5 т/га мульчи, остающейся после пожнивного посева овса [25].

В связи с этим особо актуальны исследования аллелопатических свойств мульчи и органических веществ, выделенных из растений, произрастающих в РФ.

Применение на орошении. Мульчирование орошаемых участков снижает испарение, приводит к сокращению поливных норм и капиллярного поднятия солей, что снижает риск развития вторичного засоления. Например, при выращивании картофеля мульча массой 6 т/га позволила сохранить 77…103 мм влаги в почве [3].

Согласно результатам трехлетнего опыта на оросительной системе в Китае (среднегодовое количество осадков 170 мм, испарение 2068 мм) в первый и второй год мульчирование приводило к достоверному снижению солей только в слое 0…20 см. На третий год особенно в середине вегетационного периода подсолнечника рассоление наблюдали в слоях 0…20 см и 20…40 см [26]. Сходные результаты получены в провинции Эль-Файюм (Египет) [27]. В Северном Китае (среднегодовое количество осадков 553 мм, 60 % которых выпадает в июле–августе) при поливе солоноватой (3,0…5,0 г соли/л) водой и количестве мульчи 4,5; 6,0; 7,5; 15,0 и 30,0 т/га отмечали небольшое снижение содержания солей в метровом слое почвы благодаря их перераспределения из верхнего (0…40 см) в более глубокие (40…100 см) слои. Значительных различий в содержании солей в вариантах с разным количеством мульчи не отмечено [28]. В Узбекистане в бассейне реки Сырдарья эффект рассоления на мульчированных участках позволил сформировать прибавку урожая хлопчатника на уровне 0,4…0,8 т/га [29].

Обсуждаемые эффекты применения мульчи критически важны в условиях сокращения ресурса орошаемых вод, что сейчас отмечают в РФ.

Изменение свойств почв. Влияние органической мульчи на почвенные процессы заключается в улучшении параметров, обеспечивающих ее плодородие. Это связывают, прежде всего, с поступлением дополнительного количества органического вещества и защитой поверхности почвы [14, 30]. Однако имеются и негативные оценки, свидетельствующие об уплотнении почвы при отсутствии рыхления [6, 11], которые, на наш взгляд, обусловлены особенностями почвы, климатическими условиями, недостаточной мощностью или небольшой продолжительностью использования мульчи.

Содержание гумуса. Влияние мульчирования на содержание органического вещества в почве всегда оценивают как положительное и связывают с поступлением дополнительного органического вещества [30].

Данные 11-летнего опыта, проведенного в Северном Китае (среднегодовое количество осадков 697 мм, температура 13,6 °С) показали, что нанесение соломы повысило содержание гумуса в верхнем слое почвы при вспашке, No-till и глубоком рыхлении, по сравнению с вариантами без мульчи, на 13,9; 23,3 и 29,2 % соответственно [31].

Отсутствие обработки почвы приводит к большему накоплению гумуса, однако эти оценки могут быть не всегда корректными вследствие различий в профильном распределении. При вспашке гумус распределяется по профилю равномернее, затрагивая более глубокие слои. Без рыхления его накопление происходит в верхней части профиля, но в итоге запасы оказываются примерно одинаковыми [32].

Преимущества технологии No-till, по сравнению с рыхлением, в основном возрастают со временем, что в долгосрочной перспективе может определить достоверное увеличение запасов гумуса [6].

Кислотность. В условиях семиаридного климата Испании в пятилетнем опыте при No-till отмечено подкисление верхнего слоя почвы и подщелачивание нижнего, по сравнению мелкой обработкой и вспашкой. В варианте No-till кислотность почвы на глубине 0…5 см была ниже, чем при вспашке, на 0,3 ед. pH, а на глубине 20…30 см увеличивалась на 0,6 ед. pH [33].

Согласно результатам лабораторных опытов растительные остатки нута, рапса и пшеницы способны увеличить исходную кислотность почвы. Повышение pH определяется щелочностью золы мульчи, проявляющейся в результате декарбоксилирования карбоксильных групп и ассоциации H^+ органическими ионами [34].

Физические свойства почвы. Влияние мульчирования на плотность почвы обсуждается активно, но мнения противоречивы. В обзоре, посвященном исследованию физических свойств почв при использовании технологии No-till, показано, что из 62 исследований, сравнивающих No-till и обработку почвы, в 26 случаях не происходило достоверного изменения плотности, в 24 – наблюдали уплотнение, в 12 случаях – разуплотнение [6].

В 13-летнем опыте проведенном на северо-востоке Турции в условиях семиаридного климата (температура воздуха – 5,6 °С, количество осадков – 427 мм) плотность в слое 0…30 см на пахотном участке составляла 1,25 г/см^3, при минимальной обработке – 1,24 г/см^3, в варианте No-till – 1,29 г/см^3 [11].

В длительном (23 года) эксперименте в Университете Южной Дакоты (США) в варианте No-till показано снижение плотности почвы до глубины 60 см, по сравнению со вспашкой [35].

В полузасушливых условиях юго-запада Испании установлено, что плотность верхнего слоя почвы на немульчированном участке составляла 1,45 г/см^3, при ежегодно внесении на протяжении трех лет 5, 10, 15 т/га мульчи она снижалась до 1,41; 1,37 г/см^3 и 1,32 г/см^3 соответственно. В этом же ряду наблюдали увеличение водопрочности агрегатов и пористости почвы [5].

Покрытие необработанной почвы соломой в течение 11 лет на ферме Уотермана Государственного университета Огайо (США) показало, следующие результаты: плотность почвы на участке без мульчи составила 1,42 г/см^3, при ее внесении в количестве 2; 4; 8; 16 т/га – 1,41; 1,43; 1,42 и 1,35 г/см^3 [4].

Дополнительный разуплотняющий эффект No-till может проявляться на фоне длинноротационных севооборотах, по сравнению с короткоротационными или монокультурой [6, 35], а также при дополнительном поступлении органического вещества на поверхность почвы, например, при пожнивном посеве [6, 36, 37].

Температурный режим. В зависимости от экологических предпочтений культуры могут испытывать стресс и страдать при отклонении от температурного оптимума. Понижение температуры на мульчированных участках препятствует прорастанию семян и снижает урожайность теплолюбивых культур. Решить такую проблему позволяет поздний посев. При этом мульчирование может быть хорошим способом регулирования теплового режима почвы или снижения негативных последствий летней жары [38].

Так, при внесении 6,0 т/га мульчи температура почвы на глубине 15 см уменьшалась на 4…6 °С, 30 см – на 2…3 °С, а продуктивность картофеля возрастала на 24…42 % [3]. Мульчирование снижало колебания температуры поверхности почвы: 6,0 т/га мульчи повышало минимальную температуру почвы на 1,4…2,4 °С и уменьшало максимальную на 2,5…4,0 °С [12].

Эта информация необходима при планировании севооборотов и определении сроков посева, а также может быть основой для корректировки ареала возделывания культуры.

Питательный режим. При мульчировании отмечали рост содержания доступного калия и фосфора и сокращение доли общего азота [3, 39], что, видимо, связано с его перехватом микробным сообществом почвы.

Согласно результатам многолетнего (15 лет) эксперимента в условиях богарного земледелия на лессовом плато в Китае использование этого приема способствовало сохранению почвенной влаги, увеличивало сбор зерна и биомассы кукурузы, содержание нитратного азота в мертвом слое (на 80,2 %) [40]. Мульчирование соломой обеспечивало увеличение содержание углерода и азота микробной биомассы, растворимого органического углерода и азота в почве и приводило к росту урожайности кукурузы на 9,8 %, яровой пшеницы – на 7,4 % [41].

В семиаридных условиях Китая (годовая температура 12,9 °С, сумма осадков 660 мм) мульчирование улучшало эффективность удобрений при выращивании кукурузы. Внесение соломы массой 2,5 и 5,0 т/га на фоне 172 кг/га азота, по сравнению с вариантом без мульчи, способствовало увеличению вегетативной массы кукурузы на 11 и 19 % и снижению коэффициента водопотребления на 4 и 5 % соответственно [42]. Положительный пример совместного применения соломы и азотных удобрений показан и в других исследованиях [43].

Влияние на урожайность. По мере увеличения массы мульчи чаще всего отмечают постепенный рост урожайности. Однако после накопления определенного ее количества такой эффект исчезает или происходят негативные изменения. Существует мнение, что соломенная мульча приводит к повышению продуктивности только вегетативной массы. [44, 45].

Применение No-till стабилизирует урожайность по годам [46]. Этот эффект проявляется не сразу, а по истечении, согласно данным разных исследователей, не менее 4 [47], 5 [46],

10 лет [48], что связывают со скоростью накопления органического вещества и улучшения свойств почвы [31].

Анализ опыта применения No-till показывает, что количество положительных примеров доминирует. Отрицательные, по нашему мнению, связаны как с невозможностью использования этой технологии в конкретных условиях, так и с неправильными параметрами мульчи. Очень часто ее количеством невозможно управлять, поскольку оно зависит от урожая вегетативной массы выращенных культур. Масса мульчи очень важный параметр, которым можно управлять такими способами, как, например, глубина посева или норма внесения удобрений. По нашему мнению, при невозможности обеспечить достаточное количество мульчи переходить на технологию No-till нецелесообразно.

Заключение. Органическую мульчу в земледелии применяют для различных целей. Наиболее активно в засушливых условиях для снижения испарения. В аридных зонах – для сокращения норм поливной воды, борьбы с вторичным засолением, снижения уровня токсичных солей в корнеобитаемом слое, а также при поливе более минерализованной водой. Нанесение соломенной мульчи – эффективное противоэрозионное мероприятие при рекультивации нарушенных почв. Аллелопатические и затеняющие свойства мульчи можно использовать в органическом земледелии для улучшения фитосанитарного состояния посевов при отказе от гербицидов.

Органическая мульча приводит к оздоровлению экологической ситуации. Она восстанавливает природные процессы почвообразования в агроценозах. В этом корень ее позитивного и комплексного воздействия на почвы засушливых территорий. Ощутимый эффект от мульчирования проявляется не сразу в силу того, что все естественные процессы медленнее деструктивных. Увеличение вегетативной массы произрастающих культур и ее оставление на поверхности почвы обеспечивает повышение содержания гумуса и оптимизацию свойств почв. Уровень плодородия растет постепенно и неправильно ожидать быстрых положительных изменений. Сразу проявляется лишь эффект защитного барьера.

Для улучшения свойств почвы и повышения урожайности необходимо накопление определенной массы мульчи, которая зависит от конкретных почвенно-климатических условий. По мере ее увеличения эффект чаще всего усиливается. В отсутствии основной обработки почвы мульча не всегда способна справится с уплотнением почвы.

Эффект ресурсосберегающих технологий определяется уровнем накопленного гумуса, на что требуется время, которое можно сократить путем выращивания культур, формирующих большую массу для мульчирования и пожнивных посевов на No-till.

Обзор зарубежного опыта применения органической мульчи, её влияния на свойства почвы и урожайность культур показывает перспективность использования в Российской Федерации технологии No-till, которая наиболее полно отвечает требованиям природоподобности. Но её освоение сопряжено с рисками, обусловленными зональными особенностями территорий, недостаточностью сведений об оптимальных параметрах (характеристиках) органической мульчи, отклике на отсутствие обработки почвы. В связи с этим необходимы научные эксперименты по изучению этих вопросов в различных зонах страны, а также участие ученых в анализе результатов длительного практического применения No-till.

Литература.

1. Чендев Ю. Г., Хохлова О. С., Александровский А. Л. Агрогенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение. 2017. №5. С. 515–531. doi: 10.7868/80032180X17050045.

2. Титлянова А. А., Шибарева С. В. Подстилки в лесных и травяных экоситсемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 137.

3. Kar G., Kumar A. Effects of irrigation and straw mulch on water use and tuber yield of potato in eastern India // Agricultural Water Management. 2007. Vol. 94. Iss. 1-3. Pp. 109–116. doi:10.1016/j.agwat.2007.08.004.

4. Mulumba L. N., Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties // Soil and Tillage Research. 2008. Vol. 98. No. 1. Pp. 106–111. doi:10.1016/j.still.2007.10.011.

5. 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. Pp. 77–85. doi:10.1016/j.catena.2010.01.007.

6. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326. Pp. 164–200. doi:10.1016/j.geoderma.2018.03.011.

7. Кирюшин В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. 2013. №7. С. 3–6.

8. Власенко А. Н., Власенко Н. Г., Коротких Н. А. Проблемы и перспективы разработки и освоения технологии No-Till на черноземах лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 9. С. 16–19.

9. Байбеков Р. Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 3–6. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10201.

10. Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы // Земледелие. 2017. № 1. С. 33–36.

11. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate / Z. Gozubuyuk, U. Sahin, I. Ozturk et al. // CATENA. 2014. No. 118. Pp. 195–205. doi:10.1016/j.catena.2014.01.006.

12. Bhatt R., Khera K. L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India // Soil and Tillage Research. 2006. Vol. 88. No. 1-2. Pp. 107–115. doi:10.1016/j.still.2005.05.004.

13. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China / S. X. Li, Z. H. Wang, S. Q. Li et al. // Agricultural Water Management. 2013 Vol. 116. Pp. 39–49. doi:10.1016/j.agwat.2012.10.004.

14. Vach M., Hlisnikovsky L., Javurek M. The Effect of Different Tillage Methods on Erosion // Agriculture (Pol'nohospodarstvo). 2018. Vol. 64. No. 1. Pp. 28–34. doi: 10.2478/agri-2018-0003.

15. Rahma A. E., Warrington D. N., Lei T. Efficacy of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China // International Soil and Water Conservation Research. 2019. Vol. 7. Pp. 335–345. doi:10.1016/j.iswcr.2019.08.003.

16. Cong P., Yin G., Gu J. Effects of stubble and mulching on soil erosion by wind in semi-arid China // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 1–8. doi:10.1038/srep29966.

17. Is Pesticide Use Related to Parkinson Disease? Some Clues to Heterogeneity in Study Results / M. Van der Mark, M. Brouwer, H. Kromhout et al. // Environmental Health Perspectives. 2011. Vol. 120. No. 3. Pp. 340–347. doi:10.1289/ehp.1103881.

18. In vitro neurotoxic hazard characterisation of dinitrophenolic herbicides / H. J. Heusinkveld, A. C. van Vliet, P. C. G. Nijssen et al. // Toxicology Letters. 2016. No. 252. Pp. 62–69. doi:10.1016/j.toxlet.2016.04.014.

19. Hazard and risk of herbicides for marine microalgae / S. B. Sjollema, G. MartinezGarcia, H. G. van der Geest et al. // Environmental Pollution. 2014. No. 187. Pp. 106–111. doi:10.1016/j.envpol.2013.12.019.

20. Evolutionary epidemiology predicts the emergence of glyphosate resistance in a major agricultural weed / D. Comont, H. Hicks, L. Crook et al. // New Phytologist. 2019. Vol. 223. Pp. 1584–1594. doi:10.1111/nph.15800.

21. Recent Advances in Weed Management. Springer / edit. B. S. Chauhan, G. Mahajan. New York: Springer, New York, NY, 2014. P. 411. doi: 10.1007/978-1-4939-1019-9.

22. Allelopathic Potential of Winter Cereals and Their Cover Crop Mulch Effect on Grass Weed Suppression and Corn Development / K. V. Dhima, I. B. Vasilakoglou, I. G. Eleftherohorinos et al. // Crop Science. 2006. Vol. 46. No. 1. P. 345. doi:10.2135/cropsci2005-0186.

23. Conservation tillage and mulching effects on the adaptive capacity of direct-seeded upland rice (*Oryza sativa* L.) to alleviate weed and moisture stresses in the North Eastern Himalayan Region of India / G. S. Yadav, A. Das, R. Lal et al. // Archives of Agronomy and Soil Science. 2018. Vol. 64. No. 9. Pp. 1254–1267. doi:10.1080/03650340.2018.1423555.

24. Is mulching an efficient way to control weeds? Effects of type and amount of crop residue in rainfed rice based cropping systems

in Madagascar / L. Ranaivoson, K. Naudin, A. Ripoche et al. // Field Crops Research. 2018. No. 217. Pp. 20–31. doi:10.1016/j.fcr.2017.11.027.

25. Campiglia E., Radicetti E., Mancinelli R. Weed control strategies and yield response in a pepper crop (*Capsicum annuum* L.) mulched with hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) and oat (*Avena sativa* L.) residues // Crop Protection. 2012. No. 33. Pp. 65–73. doi:10.1016/j.cropro.2011.09.016.

26. Effects of straw mulch and buried straw on soil moisture and salinity in relation to sunflower growth and yield / Y. Zhao, H. Pang, J. Wang et al. // Field Crops Research. 2014. No. 161. Pp. 16–25. doi:10.1016/j.fcr.2014.02.006.

27. Abd El-Mageed T. A., Semida W. M., Abd El-Wahed M. H. Effect of mulching on plant water status, soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt affected soil // Agricultural Water Management. 2016. No. 173. Pp. 1–12. doi:10.1016/j.agwat.2016.04.025.

28. Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions / H.-C. Pang, Y.-Y. Li, J.-S. Yang et al. // Agricultural Water Management. 2010. Vol. 97. No. 12. Pp. 1971–1977. doi:10.1016/j.agwat.2009.08.020.

29. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia / G. A. Bezborodov, D. K. Shadmanov, R. T. Mirhashimov et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2010. Vol. 138. No. 1-2. Pp. 95–102. doi:10.1016/j.agee.2010.04.005.

30. Kibet L. C., Blanco-Canqui H., Jasa P. Long-term tillage impacts on soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll // Soil and Tillage Research. 2016. No. 155. Pp. 78–84. doi:10.1016/j.still.2015.05.006.

31. Long-term effects of tillage and straw management on soil organic carbon, crop yield, and yield stability in a wheat-maize system / J. Xu, H. Han, T. Ning et al. // Field Crops Research. 2019. No. 233. Pp. 33–40. doi:10.1016/j.fcr.2018.12.016.

32. The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: A meta-analysis / Z. Du, D. A. Angers, T. Ren et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2017. No. 236. Pp. 1–11. doi:10.1016/j.agee.2016.11.007.

33. Lopez-Fando C., Pardo M. T. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment // Soil and Tillage Research. 2009. Vol. 104. No. 2. Pp. 278–284. doi:10.1016/j.still.2009.03.005.

34. Contribution of soluble and insoluble fractions of agricultural residues to short-term pH changes / C. R. Butterly, B. Bhatta Kaudal, Baldock et al. // European Journal of Soil Science. 2011. Vol. 62. No. 5. Pp. 718–727. doi:10.1111/j.1365-2389.2011.01387.x.

35. Soil Organic Carbon Changes Impacted by Crop Rotational Diversity under No-Till Farming in South Dakota, USA / Alhameid A., Ibrahim M., Kumar S. et al. // Soil Science Society of America Journal. 2017. Vol. 81. No. 4. P. 868. doi:10.2136/sssaj2016.04.0121.

36. Addition of Cover Crops Enhances No-Till Potential for Improving Soil Physical Properties / H. Blanco-Canqui, M. M. Mikha, D. R. Presley et al. // Soil Science Society of America Journal. 2011. Vol. 75. No. 4. P. 1471. doi:10.2136/sssaj2010.0430.

37. Olson K., Ebelhar S. A., Lang J. M. Long-Term Effects of Cover Crops on Crop Yields, Soil Organic Carbon Stocks and Sequestration // Open Journal of Soil Science. 2014. No. 4. Pp. 284–292. doi:10.4236/ojss.2014.48030.

38. Ridge-furrow mulching systems: an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rainfed environments / Y. T. Gan, K. H. M. Siddique, N. C. Turner et al. // Adv. Agron. 2013. No. 118. Pp. 429–476. doi:10.1016/B978-0-12-405942-9.00007-4.

39. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China / Y. Shao, Y. Xie, C. Wang et al. // European Journal of Agronomy. 2016. No. 81. Pp. 37–45. doi:10.1016/j.eja.2016.08.014.

40. Effects of mulching measures on soil moisture and N leaching potential in a spring maize planting system in the southern Loess Plateau / D. Qiang, D. Tinghui, G. Shengli et al. // Agricultural Water Management. 2019. Vol. 213. Pp. 803–808. doi:10.1016/j.agwat.2018.09.026.

41. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. Agric / Q. G. Dong, Y. Yang, K. Yu et al. // Water Management. 2018. No. 201. Pp. 133–143. doi:10.1016/j.agwat.2018.01.021.

42. Afridi M. Z., Feng Y. Z., Yang G. H. Wheat straw mulching with fertilizer nitrogen: An approach for improving soil water storage and maize crop productivity // Plant Soil Environ. 2018. No. 64. Pp. 330–337.

43. Straw mulching with fertilizer nitrogen: an approach for improving crop yield, soil nutrients and enzyme activities / K. Akhtar, W. Wang, A. Khan et al. // Soil Use and Management. 2019. Vol. 35. Pp. 526–535. doi:10.1111/sum.12478.

44. Mupangwa W., Twomlow S., Walker S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions // Field Crops Research. 2012. No. 132. Pp. 139–148. doi:10.1016/j.fcr.2012.02.020.

45. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions / L. Rusinamhodzi, M. Corbeels, M. T. van Wijk et al. // Agron. Sustain. Dev. 2011. No. 31. P. 657. doi:10.1007/s13593-011-0040-2.

46. Govaerts B., Sayre K. D., Deckers J. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? // Field Crop Res. 2005. No. 94. Pp. 33–42. doi:10.1016/j.fcr.2004.11.003.

47. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain / J. He, H. Li, R. G. Rasaily et al. // Soil and Tillage Research. 2011. Vol. 113. No. 1. Pp. 48–54. doi:10.1016/j.still.2011.01.005.

48. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China / S. Zhang, X. Chen, S. Jia et al. // Soil and Tillage Research. 2015. No. 154. Pp. 84–90. doi:10.1016/j.still.2015.06.002.

Organic mulch and *no-till* in agriculture: a review of international experience

D. G. Polyakov[1], F. G. Bakirov[2]
[1]Institute of Steppe, Ural branch, Russian Academy of Sciences, ul. Pionerskaya 11, Orenburg, 460000, Russian Federation
[2]Orenburg Federal Research Center, Ural branch, Russian Academy of Sciences, ul. Naberezhnaya, 29, Orenburg, 460014, Russian Federation

Abstract. *The rejection of the cultivation methods based on loosening and their replacement with nature-like technologies is a world trend in crop production. For no-till technology, it is necessary the presence of organic mulch – an analogue of the underlays from the fallen leaves of steppe plants. The purpose of the review is to characterize the experience of organic mulch use to assess the possibility of application of it and no-till technology in the Russian Federation. The steady effect of using this technology is manifested in the accumulation of mulch of a certain weight. For example, for moisture conservation, its smallest mass varies from 2 to 15 t/ha. A further increase in mulch weight helps to increase the moisture content to a certain level. Thanks to this agrotechnology, evaporation is reduced, and it allows reducing irrigation rates and controlling salinization during irrigation. With an increase in mulch mass from 1–2 t/ha to 8–10 t/ha, soil erosion losses also decrease. Due to shading, mulch inhibits weed growth – its effective amount is 5–10 t/ha. Mulch promotes an increase in the content of organic carbon in the upper soil layer and an improvement of the agrophysical parameters of the soil. The effect of no-till technology does not appear immediately, only in 4–10 years, but it intensifies over the years. In approximately 50% of cases, the soil remains compacted even after a considerable period of technology application. Positive experience shows the possibility of regulating this parameter. In our opinion, negative no-till examples are mostly associated with non-optimal parameters of organic mulch for specific conditions, since often in experiments the amount of mulch is not controlled, but depends only on the crop yield. The positive effect of mulching is undeniable. However, the introduction of no-till is fraught with some risks. Therefore, the key to the success of this technology is the determination of optimal mulch parameters for specific soil and climatic conditions.*

Keywords: *nature-like technologies; no-till; moisture conservation; erosion; irrigation; herbicides; soil organic carbon.*

Author Details: *D. G. Polyakov, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow (e-mail: electropismo@yandex.ru); F. G. Bakirov, D. Sc. (Agr.), head of laboratory (e-mail: f.bakirov@mail.ru).*

For citation: *Polyakov DG, Bakirov FG. [Organic mulch and No-till in agriculture: a review of international experience]. Zemledelije. 2020;(1):3-7. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10101.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10102
УДК 631.81:632.95:631.417.1:631.445.24

Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте

Р. Ф. БАЙБЕКОВ[1], академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, первый зам. генерального директора (e-mail: rbaibekov@bk.ru)
К. П. ХАЙДУКОВ[2], кандидат биологических наук, руководитель научного направления (e-mail: hvaber@yandex.ru)
А. А. КОВАЛЕНКО[3], кандидат сельскохозяйственный наук, ведущий научный сотрудник
Т. М. ЗАБУГИНА[3], кандидат сельскохозяйственный наук, старший научный сотрудник
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт химических средств защиты растений, ул. Угрешская, 31, Москва, 115088, Российская Федерация
[2]ООО «Курск АгроАктив», ул. 50 лет Октября, 116 г, Курск, 305040, Российская Федерация
[3]Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, ул. Прянишникова, 31а, Москва, 127550, Российская Федерация

Исследования проводили в длительном (более 60 лет) полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Домодедовского района Московской области. Схема опыта представляет выборку из 19 вариантов, объединенных в два блока: 1...9 – органоминеральные системы удобрения, 10...19 – минеральные системы. В вариантах 3...5 на фоне 50 т/га навоза за ротацию, вносимого под пропашные культуры, применяли возрастающие дозы минеральных удобрений (NPK, 2NPK, 3NPK), кратные за ротацию содержанию NPK в 50 т навоза. В вариантах 11...14 вносили возрастающие дозы минеральных удобрений (NPK, 2NPK, 3NPK и 4NPK), кратные за ротации севооборота 50 т навоза. В последние годы в опыте изучали последействие длительного применения удобрений, за 19 лет которого кислотность почвы по разным вариантам опыта повысилась с 6,2 до 5,5 ед. pH, содержание органического вещества почвы уменьшилось. Во фракционно-групповом составе гумуса снизились сумма гуминовых кислот и содержание их фракции, связанной с кальцием, увеличилось количество фульвокислот, изменилось соотношение гуминовых и фульвокислот. Наибольшее содержание легкотрансформируемого углерода и углерода, экстрагируемого горячей водой, отмечено в варианте с внесением одних органических удобрений. Количество активной части гумуса, изменяющейся под влиянием различных агротехнических приемов, варьировало от 0,05 до 0,16 % с наибольшей величиной этого показателя в варианте с органоминеральной системой удобрения даже через 24 года последействия. Содержание углерода, экстрагируемого горячей водой, в вариантах с органоминеральной системой удобрения составило 447 мг/кг, с минеральной – 298...321 мг/кг, лабильного органического вещества изменялось от 14,1 до 19,7 % от $C_{орг.}$ (наименьшее в контроле – 111 мг/кг, наибольшее в варианте с органической системой удобрений – 186 мг/кг). Комплексное исследование изменения органического вещества, позволяет диагностировать происходящие изменения и разработать меры по улучшению гумусового состояния почвы.

Ключевые слова: *органическое вещество почвы, длительный полевой опыт, последействие применения удобрений, фракционно-групповой состав гумуса, гуминовые кислоты, фульвокислоты, лабильное органическое вещество.*

Для цитирования: *Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте / Р. Ф. Байбеков, К. П. Хайдуков, А. А. Коваленко и др. // Земледелие. 2020. № 1. С. 8–11. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10102.*

Органическое вещество почвы благоприятно влияет на формирование комплекса агрономических свойств. Его содержание и качественный состав – важные показатели почвенного плодородия.

Исследования В. А. Черникова [1, 2], Н. Ф. Ганжары [3], Л. К. Шевцовой [4, 5, 6], А. И. Еськова [7], В. М. Семенова [8], С. М. Лукина [9] и других показали, что при оценке органического вещества почвы необходимо, кроме общего содержания гумуса, учитывать его качество, особенно обогащенность активными компонентами.

В последние годы при относительно «низких» дозах внесения органических и минеральных удобрений по всей стране отмечают снижение содержания гумуса в почве [10, 11, 12]. В связи с этим возникла необходимость изучения содержания и качественного состава органического вещества и разработки мер по его регулированию [13, 14, 15]. Такие исследования можно провести только в длительных полевых опытах под воздействием разнообразных агроприемов [16, 17].

Цель работы – изучить изменение содержания и качественного состава органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте с действием и последействием минеральных и органических удобрений.

Исследования в этом направлении при длительном применении удобрений и последующем их последействии проводили в длительном полевом опыте Центральной опытной станции Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, заложенном в трех полях в 1964–1966 гг. в районе деревни Шебанцево (Домодедовский район Московской области). Почва участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая среднеокультуренная.

Исходная агрохимическая характеристика почвы: pH_{KCl} – 4,3; $H_г$ – 5,4 мг-экв./100 г; S – 8,3 мг-экв./100 г; P_2O_5 (по Кирсанову) – 67 мг/кг; K_2O (по Масловой) – 147 мг/кг; гумус – 1,57 %.

Схема опыта представляет выборку из 19 вариантов, объединенных в два блока: 1...9 варианты – органоминеральные системы удобрения, 10...19 – минеральные системы. Чередование культур в севообороте: картофель ранний – пшеница озимая – свёкла кормовая – ячмень яровой. В вариантах 3...5 на фоне 50 т/га навоза крупного рогатого скота за ротацию применяли возрастающие дозы минеральных удобрений (NPK, 2NPK, 3NPK). Навоз вносили под зябь в дозах 20 т/га под картофель и 30 т/га – под свеклу. В вариантах 11...14 применяли возрастающие дозы минеральных удобрений (NPK, 2NPK, 3NPK и 4 NPK). Одинарные дозы NPK за ротации севооборота были кратными общему содержанию этих элементов в 50 т навоза. В связи с неоднократными изменениями схемы внесения удобрений большую часть исследований проводили в 10-ти вариантах, в которых системы удобрения

1. Содержание углерода (%) в почве в зависимости от применяемой системы удобрения

Вариант	$C_{орг}$				C_{trans}**
	1992 г.	2011 г.	2016 г.	ΔC*	
Контроль	0,74	0,78	0,82	+0,08	0,08
Навоз, 50 т/га (фон Н)	0,87	0,91	0,85	-0,02	0,11
Н + NPK эквивалентно фону Н	0,93	0,95	0,79	-0,14	0,05
Н + 3NPK	0,99	0,91	0,90	-0,09	0,16
$НСР_{0,5}$	–	0,03	0,03	–	–

**ΔC – изменение через 24 года последействия ранее внесенных удобрений;*
*** $C_{trans} = C_{орг}$ (2016 г.) – C_{min}, где за C_{min} принято содержание органического углерода в контрольном варианте (0,74 %).*

на протяжении всего времени опыта были постоянными.

Исследования вели на фоне периодического известкования почвы во всех вариантах опыта. За 28-летний период известняковую муку вносили 4 раза, что в сумме составило 18 т/га.

С 1993–1995 гг. до 2005 г. последействие внесенных за 28-летний период органических, минеральных удобрений и их сочетаний изучали на культурах 4-польного зернового севооборота вико-овсяная смесь на зеленую массу – озимая пшеница – овес – ячмень, а с 2005 г., после залужения опытных полей с целью восстановления плодородия деградированных фонов, – на смеси многолетних злаковых трав из овсяницы луговой (5...6 кг/га), ежи сборной (4...5 кг/га), райграса пастбищного (4...5 кг/га), фестулолиума (5...6 кг/га).

С 2011 г. внесение удобрений на выделенных частях каждой из делянок было возобновлено. Блок вариантов с органической и органоминеральной системами удобрения использовали под зернотравяной севооборот в трех полях, блок вариантов с минеральной системой удобрения – под бессменную кукурузу в двух полях.

Содержание углерода органического вещества почвы ($C_{орг}$) определяли методом Тюрина в модификации Никитина; фракционно-групповой состав гумуса – методом И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой; содержание активных компонентов в составе гумуса – путем определения легкотрансформируемого органического вещества расчетным методом; углерода, экстрагируемого горячей водой ($C_{эгв}$), – по Кёршенсу, Шульц; лабильного органического вещества ($C_{лаб}$) – по Дьяконовой [18, 19].

Исследования показали (табл. 1), что при длительном сельскохозяйственном использовании дерново-подзолистой почвы без применения удобрений содержание в ней углерода органического вещества снижалось до 0,74 %, тогда как на фоне навоза и его сочетаний с минеральными удобрениями оставалось на уровне 0,87...0,99 %. Замена севооборота многолетними травами после прекращения внесения удобрений обеспечивала стабилизацию и даже некоторое улучшение гумусового состояния почвы. За три ротации зернового севооборота (до 2006 г.) и дальнейшего использования пашни (до 2011 г.) под многолетними травами, отмечено незначительное увеличение содержания $C_{орг}$ на контроле. В вариантах опыта с органической системой оно практически не изменилось, а на органоминеральной системе снизилось на 0,09...0,14 %.

Содержание активной части гумуса (C_{trans}), определяющей биологическую активность и другие агрономические свойства почвы и изменяющейся под влиянием различных агротехнических приемов, варьировало от 0,05 до 0,16 %. Наибольшую величину этого показателя отмечали на фоне органоминеральной системы удобрения даже через 24 года последействия.

Основная роль в изменении кислотности почвы принадлежит проведенному известкованию, в результате которого после 7 ротаций севооборота величина pH при органической и органоминеральной системах удобрения составила 6,2, при минеральной – 5,8 ед., а еще через 19 лет – соответственно 5,6 и 5,5...5,8 ед. (табл. 2). Длительное систематическое применение органических удобрений обеспечивало увеличение $C_{орг}$, по отношению к контролю, на 0,13 % в оба срока определения, тогда как положительное влияние минеральных удобрений в период их действия было слабее, чем органических, а в последействии приводило даже к снижению на 0,07...0,08 %.

Качественный состав гумуса почвы опыта – типичный для дерново-подзолистых почв с ярко выраженным преобладанием фульвокислот, наибольшее содержание которых отмечено в вариантах с минеральной системой удобрений и в контроле. В группе гуминовых кислот преобладает первая фракция, в которую входят свободные и связанные с подвижными (легкорастворимыми) соединениями полуторных окислов гуминовые кислоты. Содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием, через 19 лет последействия удобрений снизилось во всех вариантах опыта в 2...3 раза, но наибольшим оставалось на фоне последействия 50 т/га навоза (см. табл. 2). Группа фульвокислот выделяется содержанием фракции 3, в которую входят фульвокислоты, связанные с гуминовыми кислотами первой фракции. Больше всего их в почве в варианте с внесением одних минеральных удобрений. На фоне последействия органических и эквивалентных им количеств минеральных удобрений увеличилось содержание фракции 1а, состоящей из свободных и связанных с подвижными полуторными окислами фульвокислот, которую называют «агрессивной». Эта фракция наиболее подвижна, её «агрессивность» выражается в активном участии в процессе оподзоливания.

2. Фракционно-групповой состав гумуса дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы после 28 лет применения удобрений и 19 лет их последействия, % от $C_{орг}$ почвы

Вариант	pH_{KCl}	$C_{орг}$	Гуминовые кислоты (ГК)				Фульвокислоты (ФК)					ГК+ФК	$C_{ГК}:C_{ФК}$	Гумин
			1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма			
1992 г.														
Контроль	6,1	0,74	6,4	2,6	10,2	19,2	6,4	12,8	18,0	9,0	46,2	65,4	0,42	34,6
Навоз, 50 т/га (фон Н)	6,2	0,87	4,6	13,6	11,4	29,6	5,7	14,8	6,8	11,3	38,6	68,2	0,77	31,8
NPK эквивалентно фону Н (фон М)	6,1	0,74	6,4	6,4	7,7	20,5	5,1	7,7	12,8	10,3	35,9	56,4	0,57	43,6
М + 3NPK	5,8	0,84	12,4	1,2	12,4	26,0	9,9	13,6	1,2	23,5	48,2	74,2	0,54	25,8
$НСР_{0,5}$	0,2	0,07	1,5	1,2	2,0	4,4	2,8	1,2	3,6	1,5	2,9	10,2	0,10	9,5
2011 г.														
Контроль	5,9	0,78	9,0	1,3	2,5	12,8	6,4	14,1	10,2	14,1	44,8	57,6	0,28	42,3
Навоз, 50 т/га (фон Н)	5,6	0,91	7,7	4,4	3,3	15,4	6,6	15,3	7,7	13,1	42,8	58,2	0,36	41,7
NPK эквивалентно фону Н (фон М)	5,8	0,71	5,6	2,8	2,8	11,2	8,4	11,2	12,6	11,2	43,6	54,8	0,26	45,0
М + 3NPK	5,5	0,70	7,1	2,8	4,3	14,3	8,6	11,4	12,8	12,8	44,2	58,5	0,32	41,4
$НСР_{0,5}$	0,2	0,08	1,5	1,1	1,4	2,5	2,1	1,2	2,2	1,5	1,3	2,8	0,10	2,5

3. Содержание в почве лабильного и экстрагируемого горячей водой углерода

Вариант	$C_{лаб}$		$C_{эгв}$	
	% от $C_{орг}$	мг/кг	% от $C_{орг}$	мг/кг
Контроль	14,1	111	4,1	336
Навоз, 50 т/га (фон Н)	19,7	186	4,1	388
Н + NPK эквивалентно фону Н	15,7	155	4,7	447
NPK эквивалентно фону Н (фон М)	20,2	144	4,2	298
М + 3NPK	22,8	163	4,5	321
$НСР_{0,5}$	2,1	21	0,3	38

Увеличилось количество нерастворимого остатка (гумина), которое характеризует количество гумуса, связаное в наиболее прочный комплекс. Отношение $C_{ГК}$:$C_{ФК}$ уменьшилось во всех вариантах опыта, сильнее всего в варианте с последействием 50 т/га навоза – в 2,1 раза (с 0,77 до 0,36), в сравнении с действием удобрения.

Часть углеродного фонда характеризуется компонентами высокой химической и биологической активности, что определяет его основополагающую роль в осуществлении агрономических и экологических функций почв. Именно она в первую очередь изменяется под действием природных и агрогенных факторов. Исследование активных соединений гумуса почв получило широкое развитие в Германии в работах М. Кёршенса и Э. Шульц.

В наших исследованиях количество углерода, экстрагируемого горячей водой, в почве опыта варьировало от 4,1 до 4,7 % от $C_{общ}$ почвы (табл. 3). В вариантах с органоминеральной системой удобрения оно составляло 447 мг/кг, с минеральной – 298…321 мг/кг.

К лабильным формам органических веществ Н. Ф. Ганжара [3] относит неразложившиеся растительные остатки, органические вещества животного происхождения, объединяемые общим понятием – источники гумуса, которые непосредственно участвуют в питании сельскохозяйственных культур. Лабильное органическое вещество служит не только источником элементов питания, энергии и углерода для построения биомассы, но и выполняет очень важные защитные функции в отношении устойчивого (консервативного) органического вещества. В разных вариантах опыта содержание лабильного органического вещества составляло от 14,1 до 19,7 % от $C_{орг}$. Наименьшим оно было в контроле – 111 мг/кг, наибольшим в варианте с органической системой удобрений – 186 мг/кг.

Таким образом, проведенные исследования показали, что один из основных факторов, определяющих динамику и трансформацию гумуса в почве, – органические и минеральные удобрения, способствующие накоплению и сохранению содержания гумуса на уровне, близком к исходному, улучшению его качественного состава.

После прекращения внесения удобрений содержание гумуса снижается до так называемого «порогового уровня». В наших исследованиях минимальную величину этого показателя отмечали в вариантах без удобрений (контроль) и с последействием минеральных удобрений – 0,70…0,74 % $C_{общ}$.

За 19 лет последействия удобрений во фракционно-групповом составе гумуса дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы сумма гуминовых кислот уменьшилась в 2 раза, доля фульвокислот увеличилась, отношение $C_{ГК}$:$C_{ФК}$ сузилось в 1,6…2,2 раза, что свидетельствует о деградации органического вещества без применения удобрений и известкования.

Комплексное исследование органического вещества почвы позволяет оценить его подвижность, участие в химических и биологических процессах, формирующих эффективное плодородие почв, диагностировать направленность изменения этих процессов при применении и последействии различных систем удобрения, в отличие от общего углерода, для оценки динамики которого требуются десятилетия. Поэтому определение фракционно-группового состава гумуса и содержания углерода активных компонентов в его составе – необходимое дополнение к определению общего углерода при разработке приемов оптимизации параметров и управления органическим веществом в пахотной почве.

Литература.

1. Черников В. А. Комплексная оценка гумусового состояния почв // Известия ТСХА. 1987. №6. С. 83–94.

2. Изменение качественного состава гумуса дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений / В. А. Черников, С. Э. Старых, В. А. Кончиц и др. // Известия ТСХА. 1988. № 4. С. 52–57.

3. Ганжара Н.Ф. Баланс гумуса в севооборотах и пути его регулирования // Земледелие. – 1996. – №10. – С. 7-9.

4. Шевцова Л. К., Володарская И. В., Аканова Н. И. Гумусное состояние пахотных дерново-подзолистых почв при окультуривании и в условиях хозяйственного истощения // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 5. С. 33–35.

5. Шевцова Л. К., Володарская И. В. Трансформация гумуса дерново-подзолистых почв в опытах с длительным применением удобрений // Почвоведение. 1998. № 7. С. 825–831.

6. Влияние длительного применения и последействия различных систем удобрения на кислотность, содержание и качественный состав органического вещества почвы / К. П. Хайдуков, Л. К. Шевцова, А. А. Коваленко и др. // Плодородие. 2014. № 1 (76). С. 30–33.

7. Еськов А. И., Лукин С. М. Научное обеспечение воспроизводства плодородия почв // Земледелие. 2002. № 6. С. 14.

8. Семенов В. М., Лебедева Т. Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // Агрохимия. 2015. № 11. С. 3–12.

9. Лукин С. М. Влияние структуры севооборота на эффективность удобрений в длительных опытах на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агрохимия. 2017. № 12. С. 16–20.

10. Кобякова Т.И., Уфимцева Л.В. Мониторинг плодородия пахотных почв центральной и северо-западной агроклиматических зон Курганской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 5-8.

11. Кузьмичев Ф.П., Тепляшина Л.И., Гвоздева Е.Н. Мониторинг плодородия почв Саратовской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32.№ 6. С. 5-9.

12. Попов В.В. Состояние плодородия пахотных земель в юго-восточных районах Ростовской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 7-11.

13. Байбеков Р.Ф., Седых В.А., Поветкина Н.Л. Влияние на развитие дернового процесса высоких доз органических удобрений // Плодородие. 2012. № 4 (67). С. 7-9.

14. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Содержание лабильного органического вещества в севооборотах с бинарными посевами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (56). С. 13-21.

15. Влияние длительного применения высоких доз минеральных и органических удобрений на строение профиля дерново-подзолистой почвы / Р.Ф. Байбеков, Н.П. Панов, Е.Б. Скворцова и др.// Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1998. № 4. С. 61-69.

16. Отрицательное действие на плодородие дерново-подзолистых почв несбалансированных доз минеральных удобрений /Н.П. Панов, В.И. Савич, Х.А. Амергужин и др. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2003. № 6. С. 28-30.

17. Хайдуков К. П., Милютина А. А. Влияние длительного применения удобрений на содержание подвижных органических веществ в дерново-подзолистой почве // Владимирский земледелец. 2013. № 3 (65). С. 18–22.

18. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2012. 285 с.

19. Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв. М.: ВНИИА, 2010. 32 с.

Qualitative composition of organic matter in sod-podzolic soil in a long field experiment

R. F. Baibekov[1], K. P. Khaidukov[2], A. A. Kovalenko[3], T. M. Zabugina[3]

[1]All-Russian Research Institute of Chemical Means of Plant Protection, ul. Ugreshskaya, 31, Moskva, 115088, Russian Federation
[2]KurskAgroAktiv LLC, , ul. 50 let Oktyabrya, 116g, Kursk, 305040, Russian Federation
[3]D. N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, ul. Pryanishnikova, 31a, Moskva, 127550, Russian Federation

Abstract. *The studies were carried out in a long (over 60 years) field experiment on sod-podzolic heavy loamy soil in the Domodedovo district, Moscow region. The experimental design represents a sample of 19 options, combined in two blocks: 1–9 are organic and mineral fertilizer systems, 10–19 are mineral fertilizer systems. In options 2–5 against the background of 50 t/ha of manure over one rotation, applied for row crops, we used increasing doses of mineral fertilizers (NPK, 2NPK, 3NPK). These doses were divisible by NPK content in 50 tons of manure. In variants 11–14, increasing doses of mineral fertilizers (NPK, 2NPK, 3NPK and 4NPK) were applied, divisible by 50 tons of manure. In recent years, the aftereffect of prolonged use of fertilizers has been studied in the experiment; over 19 years of its application the acidity of the soil in different experimental variants increased from 6.2 to 5.5 pH units, the content of soil organic matter decreased. In the fractional group composition of humus, the sum of humic acids and the content of their fraction associated with calcium decreased, the number of fulvic acids increased, the ratio of humic and fulvic acids changed. The highest content of easily transformed carbon and carbon extracted with hot water was noted in the variant with the application of organic fertilizers only. The content of the active part of humus, which varies under the influence of various agricultural techniques, ranged from 0.05 to 0.16% and shows the largest value of this parameter in the variant of the organic and mineral fertilizer system even in 24 years of the aftereffect. The amount of carbon extracted by hot water in options with the organic and mineral fertilizer system was 447 mg/kg, with mineral one – 298–321 mg/kg. The content of labile organic matter ranged from 14.1 to 19.7% of Corg. The smallest content was noted in the control, 111 mg/kg, the largest one was in the version of the organic fertilizer system – 186 mg/kg. A comprehensive study of changes in organic matter allows you to diagnose ongoing changes and develop measures to improve the humus state of the soil.*

Keywords: *soil organic matter; long field experiment; aftereffect of fertilizers; fractional group composition of humus; humic acids; fulvic acids; labile organic matter.*

Author Details: *R. F. Baibekov, member of the RAS, D. Sc. (Agr.), first deputy general director (e-mail: rbaibekov@bk.ru); K. P. Khaidukov, Cand. Sc. (Biol.), head of research group, (e-mail: hvaber@yandex.ru); A. A. Kovalenko, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; T. M. Zabugina, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow.*

For citation: *Baibekov RF, Khaidukov KP, Kovalenko AA, et al. [Qualitative composition of organic matter in sod-podzolic soil in a long field experiment] // Zemledelie. 2020;(1): 8-11.Russian. doi: 10.24411 / 0044-3913-2020-10102.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10103
УДК: 633.853.52: 631.58: 631.559

Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои

К. А. НИКУЛЬЧЕВ[1], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: nka@vniisoi.ru)
Е. В. БАНЕЦКАЯ, научный сотрудник[1], аспирант[2] (e-mail: bev@vniisoi.ru)
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Игнатьевское ш., 19, Благовещенск, Амурская обл., 675027, Российская Федерация
[2]Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, Благовещенск, Амурская обл., 675005, Российская Федерация

Цель работы – определить продуктивность сои при её возделывании в севообороте и монокультуре в зависимости от состояния микробиологической активности и агрофизических свойств почвы. Исследования проводили на луговой черноземовидной тяжелосуглинистой среднемощной почве в Амурской области. Пахотный слой почвы характеризовался слабокислой (pH 4,9...5,0) реакцией среды и средней величиной гидролитической кислотности (2,32...2,48 мг-экв./100 г почвы), средней (по Кирсанову) обеспеченностью подвижным фосфором (75...98 мг/кг) и очень высокой – калием (более 180 мг/кг). Схема опыта включала варианты возделывания сои в севообороте после ячменя и кукурузы, а также в монокультуре. Агрофизические и микробиологические исследования проводили по общепринятым методикам. Максимальная урожайность в опыте отмечена при возделывании сои в севообороте после кукурузы (2,52 т/га), минимальная (1,14 т/га) – в монокультуре. Общая численность микроорганизмов в течение вегетации варьировала от 7,3 до 38,4 млн КОЕ/1 г почвы. Под монокультурой сои выявлено увеличение численности аммонифицирующей и иммобилизирующей микрофлоры, которая обратно пропорционально коррелировала с урожайностью культуры. Плотность почвы под посевами сои, возделываемой в монокультуре, составляла 1,20...1,25 г/см^3, в севообороте она снижалась до 1,13 г/см^3. Величина общей порозности варьировала в пределах от удовлетворительной в монокультуре до отличной – в севообороте. Запасы продуктивной влаги на всех участках в севообороте оценивались как хорошие. Выявлена тесная обратная зависимость урожайности сои от плотности почвы, как в начале, так и в конце вегетации – коэффициент корреляции в обоих случаях был равен -0,98.

Ключевые слова: *соя (Glycine max), севооборот, монокультура, агрофизические свойства почвы, физиологические группы микроорганизмов, урожайность.*
Для цитирования: *Никульчев К.А., Банецкая Е.В. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои // Земледелие. 2020. № 1. С. 11–14. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10103.*

В Амурской области соя – приоритетная культура, имеющая большое значение в экономике сельскохозяйственных предприятий. Высокая рентабельность и рыночный спрос способствовали увеличению объёмов её производства [1]. Известно, что одно из основных технологических условий, влияющих на рост урожайности и качество зерна сои, – возделывание в севооборотах [2, 3]. Размещение сои в севооборотах обеспечивает повышение урожайности, в сравнении с монокультурой, на 36,4 %, а увеличение насыщения севооборотов культурой с 33,3 до 50 % сопровождается ее снижением на 8,1 % [4].

Вопреки рекомендациям ученых, на сегодняшний день рост производства сои достигается путем увеличения посевных площадей в результате сокращения или полного отказа от возделывания зерновых, кормовых культур, однолетних и многолетних трав. Многие сельхозпроизводители расширяют посевы культуры в ущерб севооборотам, не задумываясь о последствиях. Так, в структуре посевных площадей Амурской области она занимает около 80 % (951 тыс. га), тогда как зерновые культуры – менее 20 % (193 тыс. га) [5]. При дальнейшем возделывании сои в повторных посевах и монокультуре урожайность её может уменьшиться вдвое вследствие снижения плодородия почвы, резкого ухудшения фитосанитарного состояния посевов и нарушения баланса основных эколого-трофических групп микроорганизмов почвы [6].

Микробиологическая активность почвы – эколого-агрономический индикатор антропогенного воздействия на нее, важный фактор плодородия почвы, который тесно связан с урожайностью сельскохозяйственных культур [7]. В исследованиях, проведенных другими

1. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Вариант	pH_{KCl}	Нг, мг-экв./ 100 г почвы	Содержание элементов питания, мг/кг					Гумус, %
			P_2O_5	K_2O	N минеральный			
					NO_3	NH_4	Σ	
Соя в севообороте	5,0	2,32	75	203	8,6	7,1	15,7	2,87
Монокультура сои	4,9	2,48	98	196	6,7	6,2	12,9	2,92

авторами, наиболее полно изучены численность и структура почвенных микробных систем в посевах зерновых культур [8, 9, 10], многолетних трав [11] и бобово-злаковых посевах [12], гораздо меньше известно о микрофлоре почв соевых агроценозов.

Цель работы – определение продуктивности сои при её возделывании в севообороте и монокультуре в зависимости от микробиологической активности и агрофизических свойств почвы.

Исследования проводили в 2017–2018 гг. на опытном поле ФГБНУ ВНИИ сои в с. Садовое Тамбовского района Амурской области на луговой черноземовидной тяжелосуглинистой среднемощной почве, типичной для южной зоны Амурской области. Схема опыта представлена 4-польным севооборотом (ячмень – соя – кукуруза – соя) и монокультурой сои (контроль), заложенным в 1967 г. Наблюдения в опыте ведутся согласно методическим рекомендациям [13], площадь делянки 180 м², повторность трехкратная.

Микробиологическую активность оценивали определением численности функциональных групп микроорганизмов в почвенных образцах – методом посева на твердые питательные среды: микроорганизмы, использующие органический азот – на мясо-пептонном агаре (МПА), микроорганизмы, потребляющие минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре (КАА) [14]. Агрофизические свойства определяли согласно методикам А. Ф. Вадюниной, З. А. Корчагиной [15] и В. В. Голубева [16]. Подвижный фосфор и калий в почвенных образцах определяли методом А.Т. Кирсанова [17], математическую обработку опыта проводили по Б.А. Доспехову [18].

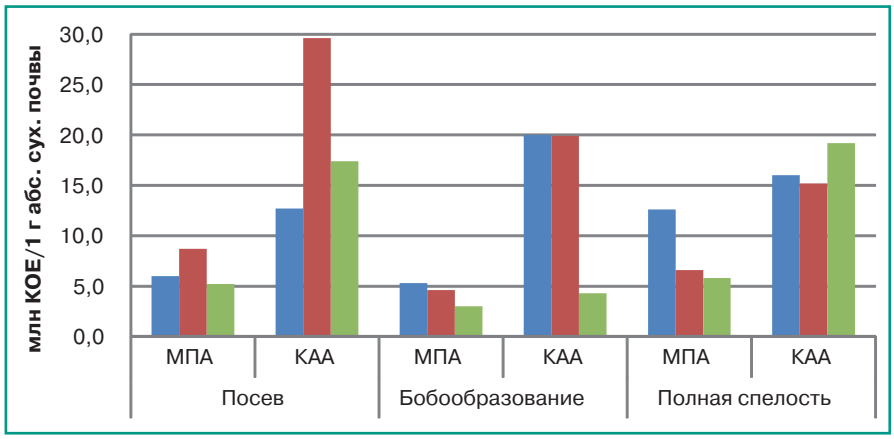


Рис. 1. Динамика численности микроорганизмов на МПА и КАА по фазам развития сои (в среднем за 2017–2018 гг.), млн. КОЕ/1 г абс. сух. почвы: ■ – монокультура; ■ – соя после ячменя; ■ – соя после кукурузы.

Технология возделывания сои включала основную обработку почвы культиватором КП-4 на глубину 18 см с последующим дискованием (БДТ-3,8) до 12 см; ранневесеннее боронование (СП-16 + 16 БЗС 1,0); предпосевную культивацию на глубину до 10 см с использованием КПС-5,4; внесение почвенного гербицида (Фронтьер Оптима в дозе 1,2 л/га) и его заделку бороной БЗС 1,0 на глубину до 5 см; удобрения не применяли; для обработки посевов сои по вегетации использовали баковую смесь гербицидов Галакси топ 1,2 л/га и Арамо 45 1,5 л/га. Выращивали сорт сои Грация с нормой высева 600 тыс. всхожих семян на 1 га, инокуляцию семян не проводили. Учет урожая осуществляли методом прямого комбайнирования комбайном «JohnDeer 3070».

Пахотный слой почвы опытного участка характеризовался (табл. 1) слабокислой (pH 4,9…5,0) реакцией среды и средней величиной гидролитической кислотности (2,32…2,48 мг-экв./100 г почвы); обеспеченность подвижным фосфором – средняя (75…98 мг/кг), калием – очень высокая (более 180 мг/кг).

Луговая черноземовидная почва экспериментального участка характеризовалась значительной биогенностью, общая численность микроорганизмов в течение вегетации варьировала от 7,3 до 38,4 млн КОЕ/1 г почвы (рис. 1).

Аммонификаторы (на МПА), трансформирующие в результате жизнедеятельности азот органических соединений до аммиака, в течение вегетации в посевах сои после кукурузы были в наименьшем количестве. По численности этой группы микроорганизмов почва в севообороте характеризовалась как среднеобогащенная, очень богатой, согласно шкале Д.Г. Звягинцева [19], она была только в монокультуре в фазе полной спелости сои. При этом выявлена отрицательная взаимосвязь численности аммонифицирующей микрофлоры с урожайностью сои в фазах образования бобов (r = -0,92) и полной спелости (r = -0,97). Возможно, это закономерность именно соевого агроценоза, так как в ранее проведенных исследованиях [20] в посевах пшеницы отмечали обратную ситуацию.

Наибольшая численность иммобилизаторов (на КАА) отмечена в начале вегетации в севообороте при размещении сои после ячменя (29,6 млн КОЕ/1 г почвы) и кукурузы (17,4 млн КОЕ/1 г почвы), что свидетельствует о наличии в почве растительных остатков, богатых углеродом, но бедных азотом.

Быстрое развитие клубеньков на корнях сои происходит в период цветения – налива семян [21]. В наших исследовани-

2. Агрофизические свойства почвы в слое 0…20 см под посевами сои, возделываемой в монокультуре и севообороте, средние за 2017–2018 гг.

Показатель	Монокультура	После ячменя	После кукурузы	Монокультура	После ячменя	После кукурузы
	всходы			уборка		
Плотность, г/см³	1,25	1,22	1,19	1,20	1,14	1,13
Влажность, % к массе	19,3	21,6	21,9	25,0	26,3	26,0
Общая порозность, % к объему	53,9	54,8	56,1	55,6	57,8	58,1
Влажность, % к объему	24,0	26,3	26,0	30,0	30,0	29,4
Содержание воздуха в почве фактическое, % к объему	29,9	28,5	30,2	25,5	27,8	28,8
Общий запас влаги, мм	48,4	54,3	52,7	60,2	56,8	62,9
Содержание недоступной влаги, мм	13,2	12,9	12,5	12,7	12,1	12,0
Содержание доступной влаги, мм	35,2	41,3	40,1	47,5	44,7	50,9

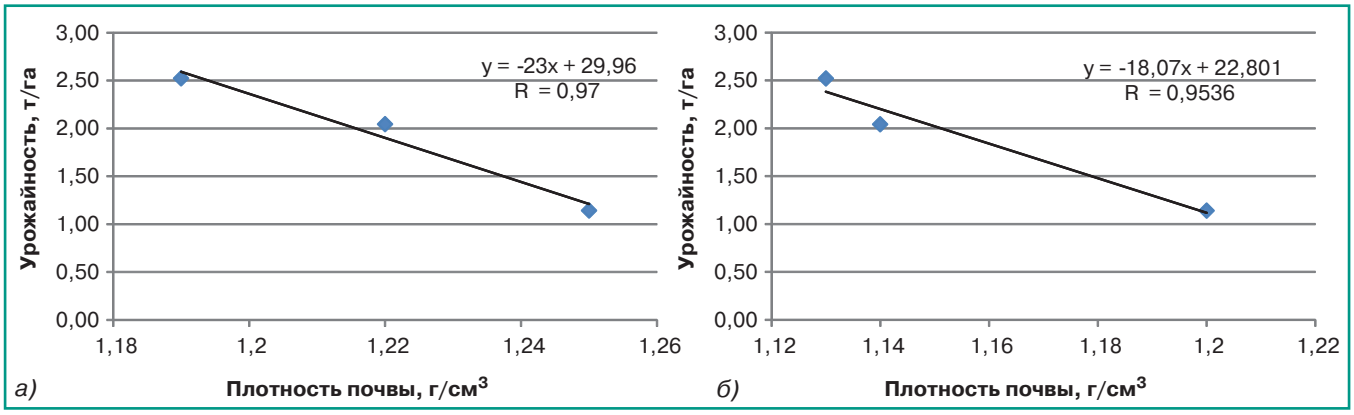


Рис. 2. *Зависимость урожайности сои от плотности почвы: а) в начале вегетации; б) в конце вегетации (средние за 2017–2018 гг.)*

ях к фазе бобообразования численность аммилолитической микрофлоры под соей, размещённой после зерновых культур снижалась, в монокультуре – повышалась. В этом случае увеличение иммобилизаторов азота – негативный аспект, так как для почвенных микроорганизмов, которые участвуют в усвоении азота из воздуха (в том числе клубеньковые бактерии), большое значение имеют источники энергии, получаемые в конкуренции с неазотфиксирующей микрофлорой [22, 23]. Возможно, при длительном выращивании в монокультуре у сои начинает ослабевать способность к азотфиксации. Это может происходить из-за уменьшения численности клубеньковых бактерий в результате конкурентной борьбы с иммобилизаторами азота в почве. Не исключено, что это служит одной из причин снижения урожайности сои, наряду с ухудшением агрофизических свойств почвы.

Коэффициенты минерализации ($К_{мин}$ = КАА/МПА) во все фазы роста и развития сои были значительно выше единицы, что свидетельствует об активно протекающих процессах минерализации азота. Максимальные в опыте величины $К_{мин}$ в посевах монокультуры (3,8) и после ячменя (4,3) отмечены в фазе образования бобов. В почве под соей после кукурузы в этот период, напротив, неблюдали снижение интенсивности минерализационных процессов (2,2).

Почва под посевами сои, возделываемой в монокультуре (1,25 г/см^3) и севообороте после ячменя (1,22 г/см^3), в начале вегетации была среднеплотной, тогда как после кукурузы (1,19 г/см^3) – рыхлой (табл. 2). Эти изменения во многом могут зависеть от ботанико-морфологических особенностей предшествующих культур и агротехнических особенностей их возделывания. К концу вегетации под соей в монокультуре почва сохранила среднеплотное состояние (1,20 г/см^3), тогда как в севообороте по кукурузе и ячменю отмечено ее разуплотнение до 1,13…1,14 г/см^3.

Общая порозность в начале вегетации сои изменялась в пределах от удовлетворительной в монокультуре и севообороте после ячменя до хорошей после кукурузы. Величина этого показателя варьировала в пределах от 53,9 до 56,1 %, что соответствовало оптимальному уровню (48…65 %). К концу вегетации состояние пахотного слоя почвы 0…20 см по общей порозности независимо от способа возделывания оценивалось как хорошее.

3. Урожайность сои в зависимости от предшественника, средняя за 2017–2018 гг.

Вариант	Урожайность, т/га
Монокультура	1,14
Севооборот, предшественник – ячмень	2,04
Севооборот, предшественник – кукуруза	2,52
$НСР_{05}$, т/га	0,51

Запасы продуктивной влаги в начале вегетации в слое почвы 0…20 см были удовлетворительными в монокультуре и хорошими в севообороте. К концу вегетации на всех участках, независимо от предшественника, они оценивались как хорошие.

Критическое влияние на процесс формирования урожайности сои оказала плотность почвы, что наглядно демонстрируют графики взаимосвязи величин этих показателей, как в начале, так и в конце её вегетации, а также коэффициенты корреляции, которые в оба срока были равны -0,98 (рис. 2).

Урожайность сои существенно различалась в зависимости от предшественника (табл. 3). При возделывании сои в монокультуре она была наименьшей (1,14 т/га). Максимальная в опыте урожайность (2,52 т/га) отмечена в севообороте по предшественнику кукуруза. Размещение сои по ячменю сопровождалось ее снижением на 0,48 т/га, относительно предыдущего предшественника. Тем не менее сбор семян в этом варианте был достоверно выше, чем в монокультуре.

Таким образом, чередование сельскохозяйственных культур сформировало лучшие условия для выращивания сои. Возделывание ее в монокультуре сопровождалось ухудшением агрофизических условий корнеобитаемого слоя почвы (по плотности, общей порозности и содержанию доступной влаги), что в свою очередь привело к угнетению развития растений и снижению уровня урожайности культуры. Микробиологическими исследованиями в монокультуре сои выявлено увеличение численности аммонифицирующей и иммобилизирующей микрофлоры, которая обратно пропорционально коррелировала с урожайностью культуры. Прирост урожайности сои, относительно ее возделывания в монокультуре, составил при размещении по ячменю 0,90 т/га (79 %), по кукурузе – 1,38 т/га (121 %).

Литература

1. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, проф. П. В. Тихончука. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2016. 570 с.

2. Никульчев К. А. Роль предшественника в формировании урожайности сои на фоне длительного применения удобрений // Плодородие. 2019. № 3 (108). С. 39–41.

3. Гайдученко А. Н., Оборский С. Л., Топорова Л. И. Роль короткоротационных севооборотов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области. 2008. Вып. 4. С. 67–72.

4. Гайдученко А. Н. Состояние и результаты научных исследований по разработке оптимальной структуры посевных площадей в Амурской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 12. С. 18–23.

5. Министерство сельского хозяйства Амурской области / Информация о ходе с.-х. работ с 2006 по 2017 гг. – http://agroamur.ru/svodka.html (Дата обращения: 5.03.2019).

6. Тильба В. А. О численности микроорганизмов в почве соевых полей // Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. Л.: Изд-во «Наука», 1972. С. 236–239.

7. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке

антропогенного воздействия на почву // Почвоведение. 2003. № 2. С. 202–210.

8. Бородкин О. И., Безлер Н. В., Сумская М. А. Динамика численности микроорганизмов, участвующих в трансформации азотсодержащих веществ, в посевах культур зернопропашного севооборота // Плодородие. 2011. № 5. С. 19–21.

9. Основные тенденции в формировании почвенного микробного сообщества в условиях стационарного полевого опыта по данным высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S-рРНК / В. А. Думова, Е. В. Першина, Я. В. Мерзлякова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 5. С. 85–92.

10. Оценка длительного воздействия агротехнических приемов и сельскохозяйственных культур на почвенные микробные сообщества / И. О. Корвиго, Е. В. Першина, Е. А. Иванова и др. // Микробиология. 2016. № 2. С. 199–210.

11. Подковырова К.С., Наплёкова Н. Н. Микрофлора почвы под козлятником восточным третьего года жизни // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 11. С. 15–16.

12. Гордеева Т. Х., Новоселов С. И. Биологическая активность почвы и продуктивность смешанных бобово-злаковых агроценозов // Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафтов Кубани: материалы Междунар. науч. конф. Краснодар: КубГАУ, 2016. С. 197–201.

13. Синеговская В. Т. Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей. Благовещенск: Изд-во «Одеон», 2016. 115 с.

14. Титова В. И., Козлов А. В. Методы учета численности и биомассы микроорганизмов почвы: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2011. 40 с.

15. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

16. Голубев В. В. Агрофизические исследования почв. Благовещенск: БСХИ, 1984. 53 с.

17. ГОСТ 26207 – 91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Взамен ГОСТ 26207 – 84; введён 29.12.91 № 2389 до1998 г.- М.: Изд-во стандартов, 1992.

18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

19. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.

20. Наумченко Е.Т., Банецкая Е.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивное использование элементов минерального питания посевами пшеницы // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 1 (45). С. 42–48.

21. Тильба В. А., Синеговская В. Т. Роль симбиотической азотфиксации в повышении фотосинтетической продуктивности сои // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 5. С. 16–18.

22. Тильба В. А., Шабалдас О. Г. Использование биологического азота как средства биологизации системы земледелия // Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 2. С. 96–100.

23. Испытание штаммов ризобий сои видов Bradyrhizobium japonicum и Sinorhizobium fredii / Л. А. Дега, О. И. Хасбиуллина, М. В. Якименко и др. // Защита и карантин растений. 2016. № 10. С. 23–24.

Influence of Crop Rotation Cultures on Microbiological Activity, Soil Agrophysical Properties and Soybean Yield

K.A. Nikulichev[1], E.V. Banetskaya[1, 2]
[1]All-Russian Research Institute of Soybean Breeding, Ignat'evskoe sh., 19, Blagoveshchensk, Amurskaya obl., 675027, Russian Federation
[2]Far Eastern State Agrarian University, ul. Politekhnicheskaya, 86, Blagoveshchensk, Amurskaya obl., 675005, Russian Federation

Abstract. *The goal of the research was to determine the soybean productivity during its cultivation in a crop rotation and in monoculture, depending on the microbiological activity and agrophysical properties of the soil. The studies were carried out in the Amur region in meadow chernozem-like heavy loamy medium-thick soil. The arable layer of the soil was characterized by a weakly acid (pH was 4.9–5.0) medium reaction and an average value of hydrolytic acidity (2.32–2.48 meq/100 g), average availability of mobile phosphorus (75–98 mg/kg), very high provision with exchange potassium (more than 180 mg/kg). The design of the experiment included soybean cultivation in the crop rotation after barley and corn and in monoculture. Agrophysical and microbiological studies were carried out according to generally accepted methods. The maximum yield was obtained when growing soybean in the crop rotation after corn (2.52 t/ha), the minimum one (1.14 t/ha) – in monoculture. The total number of microorganisms during the vegetation ranged from 7.3 to 38.4 million CFU/1 g of soil. In the soybean monoculture, an increase in the number of ammonifying and immobilizing microflora was revealed, which inversely correlates with the crop yield. It was found that under soybean crops in monoculture, the soil density was high (1.20–1.25 g/cm3), while in the crop rotation it decreased to 1.13 g/cm3. The value of total porosity ranged from satisfactory in monoculture to excellent in the crop rotation. The reserves of productive moisture in all areas in the crop rotation were assessed as good. A close inverse dependence of soybean yield on soil density was revealed, both at the beginning and the end of the growing season, the correlation coefficient was -0.98 in both cases.*

Keywords: *soybean (Glycine max); crop rotation; monoculture; agrophysical properties of soil; physiological groups of microorganisms; yield.*

Author details: *K. A. Nikulichev, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: nka@vniisoi.ru); E. V. Banetskaya, research fellow, post graduate student (e-mail: bev@vniisoi.ru).*

For citation: *Nikulichev KA, Banetskaya EV. [Influence of crop rotation cultures on microbiological activity, soil agrophysical properties and soybean yield]. Zemledelie. 2020;(1):11-4. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10103.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10104
УДК 631.459.01:631.435

Диагностика эродированности почв с использованием современных подходов к интерпретации параметров гранулометрического состава

И. А. САМОФАЛОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (e-mail: samofalovairaida@mail.ru)
Пермский государственный аграрно-технологический университет, ул. Петропавловская, 23, Пермь, 614000, Российская Федерация

Процессы эрозии, длительная механическая обработка, интенсивное выращивание культур отражаются на гранулометрическом составе почв, который выступает лимитирующим возделывание культур фактором. При этом эрозионная устойчивость почв в большей степени зависит от соотношения гранулометрических фракций. Цель исследований – выявить показатели гранулометрического состава, пригодные для диагностики эродированности почв. Исследования проводили в Пермском крае, территория которого характеризуется как эрозионно-опасная. На катене южной экспозиции с перепадом высот с 230 до 215 м над уровнем моря и протяженностью 415 м на элементах рельефа разной крутизны заложены 5 почвенных разрезов. В пределах склона выделены элювиальный, транс-элювиальный, транзитный, транс-элювиально-аккумулятивный, аккумулятивный ландшафты. Гранулометрический анализ выполнен по Н. А. Качинскому. Гранулометрический состав почв интерпретировали по профильному распределению частиц, структурным формулам, энтропии, коэффициентам и соотношениям. В пахотном слое почв отмечали утяжеление гранулометрического состава по катене от среднесуглинистого до легкоглинистого. Наибольшая его неоднородность по профилю установлена в транзитной части склона, что обусловлено максимальным проявлением эрозии. С использованием энтропии определен вклад элементарных почвенных частиц в формирование гранулометрического состава почв. Соотношения частиц в почвенном материале обусловливают эрозионную стойкость почв. Коэффициент эрозионной устойчивости прямо зависит от содержания средней пыли и крупного песка, и обратно от количества ила. Зафиксирована достоверная тесная обратная связь между энтропией и коэффициентом

эрозионной устойчивости. Определены структурные формулы гранулометрического состава по соотношениям частиц, которые закономерно изменяются в почвах по склону. Разность между средневзвешенным содержанием крупной пыли и илом тесно связана с показателями гранулометрического состава почв. Для диагностики эродированности почв можно использовать такие показатели, как энтропия, приращение энтропии, коэффициент эрозионной устойчивости, разница между средневзвешенным содержанием крупной пыли и ила.

Ключевые слова: *эродированность почв, геохимические ландшафты, эрозионно-аккумулятивная катена, элемент рельефа, диагностика, энтропия, структурная «формула», соотношения почвенных частиц, коэффициент эрозионной устойчивости, неоднородность.*

Для цитирования: *Самофалова И. А. Диагностика эродированности почв с использованием современных подходов к интерпретации параметров гранулометрического состава // Земледелие. 2020. № 1. С. 14–19. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10104.*

Основная агрофизическая характеристика почвы – гранулометрический состав (ГС). Знание ГС дает представление не только о генезисе и эволюции почв, но и о рациональном их использовании в любой производственной отрасли и защите от эрозии [1, 2, 3]. Почвенно-физические свойства зависят не столько от содержания физической глины [4, 5, 6], сколько от соотношения гранулометрических фракций [7, 8], определяющих особенности структуры и функции на более высоких уровнях организации почвы [2, 9, 10]. ГС учитывается как важнейшая составляющая плодородия почв, каждой разновидности присваивается свой поправочный коэффициент к баллам бонитета, в зависимости от влияния на благоприятные свойства почв [11].

Гранулометрический состав – литогенное свойство почвы. Содержание механических элементов, или, так называемых элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) принято считать одним из наиболее консервативных свойств почв с длительным временем изменения – $10^2 \ldots 10^4$ лет [6]. С другой стороны, в научной литературе показано, что на ГС почвы влияют процессы эрозии, длительная механическая обработка, интенсивные технологии выращивания культур. Кроме того, имеет место и аэральный региональный и глобальный перенос частиц [8]. Количественная оценка современных изменений ГС почв – одна из задач почвенно-экологического мониторинга. При этом может быть выделен генетический аспект формирования современных почв по оценке различий содержания отдельных фракций в почвенных горизонтах, и собственно мониторинговый аспект по оценке изменений ГС почв, связанных с антропогенным влиянием, затрагивающим в основном верхние горизонты.

Общепринятая система выражения результатов гранулометрического анализа в виде процентного содержания фракций частиц различной крупности наиболее полно решает вопрос лишь о классификационной принадлежности почв. Изучение почв на уровне разновидностей устанавливает определенные соотношения фракций ГС, которые И. В. Михеева [12, 13] назвала «формулой» ГС почвообразующих пород и почв, а В. Л. Татаринцев – структурой ГС [6, 7]. Формула ГС может быть записана как пять-шесть чисел, отражающих среднее содержание основных фракций (ила, мелкой, средней и крупной пыли, мелкого, крупного и среднего песка). Установлено, что эрозионная устойчивость почв зависит от соотношения гранулометрических фракций [4, 7, 9].

Согласно агроэкологической классификации земель В. И. Кирюшина [13], ГС относится к лимитирующим нерегулируемым факторам, ограничивающим возделывание сельскохозяйственных культур.

В Предуралье основные лимитирующие факторы – рельеф и тяжелый ГС [14, 15, 16]. На сложных эродированных склонах региона эффективную защиту почв от эрозии может обеспечить почвозащитное адаптивно-ландшафтное земледелие [17, 18, 19].

Цель исследований – выявить на основе гранулометрического состава показатели, пригодные для диагностики эродированности почв.

Для ее достижения определяли ГС почв и проводили его интерпретацию с использованием следующих современных подходов: структурные формулы, энтропия, соотношение фракций, расчет коэффициентов эрозионной устойчивости и корреляции между различными показателями.

Исследования проводили в СПК «Хлебороб» Оханского района на юго-западе Пермского края (рис. 1). Его территория, согласно природно-сельскохозяйственному районированию, входит в южно-таежную зону среднерусской провинции [20]. В Оханском районе 10909 га пашни подвержены эрозии, из них 9290 га – слабосмытые, 560 га – среднесмытые и 1059 га – сильносмытые [21]. То есть территория эрозионно-опасная и это необходимо учитывать при ведении сельского хозяйства.

Оханский район расположен в зоне с умеренно-континентальным климатом в IV агроклиматическом районе [21]. Средняя продолжительность безморозного периода 113 дней. Климат подходит для выращивания пропашных и зерновых культур. В геологическом отношении территория сложена напластованиями казанского и уфимского ярусов верхней перми, состоящими из красно-бурых мергелистых глин, переслаивающихся серыми и зеленовато-серыми песчаниками. Коренные породы покрыты толщей четвертичных отложений, состоящих из покровных глин и суглинков, элювиально-делювиальных отложений, двухъярусных пород [22]. Общий характер рельефа – платообразный с наклоном, слабоволнистый, нередко с увалами, создающими волнисто-увалистый рельеф. Согласно почвенному районированию Пермского края исследуемая территория находится в зоне дерново-подзолистых почв (Оханско-Пермский почвенный район) [23]. Преобладающие почвы – дерново-средне- и слабоподзолистые глинистые и суглинистые.

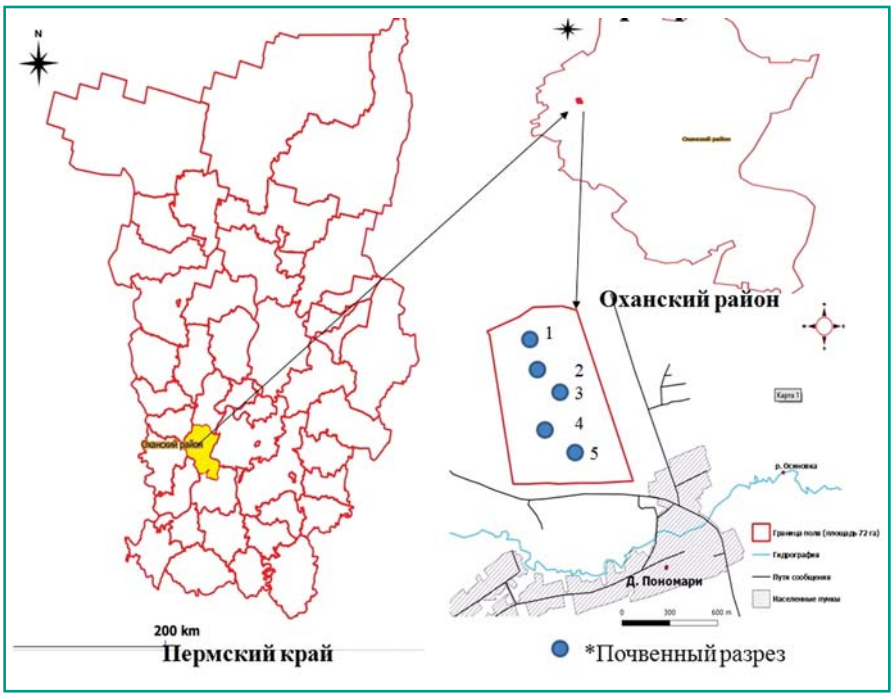


Рис. 1. *Местоположение объекта исследования.*

1. Геоморфологические условия формирования почв

Геохимический ландшафт	Разрез	Индекс	Элемент рельефа	Высота, м	Почвообразующая порода
Элювиальный	1	$П^{А}_{2}САД$	Водораздел	230	Древнеаллювиальная
Трансэлювиальный	2	$Л_{1}САД\downarrow$	Вогнутый склон	225	Древнеаллювиальная
Транзитный	3	$П^{А}_{1}САД\downarrow\downarrow$	Выпуклый склон	220	Древнеаллювиальная
Трансэлювиально-аккумулятивный	4	$П^{А}_{1}СЭД$	Выположенная часть склона	215	Элювиально-делювиальная
Аккумулятивный	5	$П^{А}_{4}ГАД\downarrow$	Шлейф склона	211	Древнеаллювиальная-делювиальная

После рекогносцировочного обследования на территории хозяйства выбран склон южной экспозиции. Угодье – пашня (поле площадью около 70 га), культура – клевер 1 года пользования в фазе цветения. На разных участках катены заложено 5 разрезов и отобраны почвенные образцы. Гранулометрический анализ выполнен в лаборатории кафедры почвоведения Пермского ГАТУ по Н. А. Качинскому с подготовкой почвы растиранием с пирофосфатом натрия.

Использовали разные методы интерпретации данных ГС почв. Профильное распределение частиц в почвах рассматривали в пределах катены. Способ представления ГС почв – устойчивое среднее соотношение фракций ГС («формула» ГС). Структурную формулу ГС почв определяли по средневзвешенному содержанию фракций по профилю по методике В. Л. Татаринцева [6]. Расчет энтропии (S) ГС почв проводили по формуле [12]:

$$S = -\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{x_i}{G}\right)\log_2\left(\frac{x_i}{G}\right),$$

где, x_i – содержание частиц; G – сумма всех частиц, %; N – число частиц по размерам.

Использовали коэффициент эрозионной устойчивости и различные соотношения между содержанием ЭПЧ и фракций. Статистическую обработку проводили в программах «Анализ данных» в Microsoft Excel и STATISTICA 6,0.

Для исследуемой катены построен почвенно-геоморфологический профиль. Склон имеет сложную форму, крутизна его варьирует в пределах от 2° до 5°, длина – 415 м. Катена по классификации [24] определена как эрозионно-аккумулятивная и характеризуется сменой следующих элементарных геохимических ландшафтов: элювиальный (Э), трансэлювиальный (ТЭ), транзитный (Т), трансэлювиально-аккумулятивный (ТЭА), аккумулятивный (А) (табл. 1).

На разных элементах рельефа обнаружены почвы разной степени оподзоленности и смытости. Почвенную комбинацию можно охарактеризовать как сочетание, где ведущим фактором формирования выступает мезорельеф, который контролирует проявление процессов оподзоленности, гидроморфизма и смытости почв.

Мощность пахотного слоя снижается по катене с 32 до 26 см, что объясняется результатом эрозии. По морфологии пахотного слоя отмечается нарастание смытости на выпуклой части склона по усилению буроватости в связи с припашкой нижележащего буроватого горизонта A_2B. В пределах катены изменяется мощность горизонта A_2. Так, на элювиальном ландшафте она составляет 10 см. В транзитных ландшафтах подзолистый горизонт отсутствует в связи либо с распашкой, либо с проявлением эрозионных процессов, которые могут усиливаться в результате механической обработки почвы. В аккумулятивном ландшафте отмечается намытость в верхней части профиля, что, по-видимому, объясняет глубокое залегание горизонта A_2, а в связи с усилением промываемости происходит и увеличение мощности горизонта.

ГС почв, расположенных на различных элементах рельефа изменяется следующим образом: на водоразделе и на вогнутой части склона – от среднесуглинистой разновидности в пахотном горизонте до среднеглинистой в породе; на выпуклой части катены – от тяжелосуглинистой до легкоглинистой в породе; на выположенной части склона – ГС в верхнем и нижнем горизонте глинистый; в почвах на шлейфе склона – ГС сменяется с легкоглинистого на среднеглинистый.

Во всех почвах отмечена опесчаненность, причем в верхней части катены, и, особенно, на выпуклой ее части, где содержание песчаной фракции в верхних горизонтах составляет более 30 % (рис. 2). Максимум крупнопылеватой фракции зафиксирован в почвах в нижней части катены (выпуклый и выположенный участки, шлейф склона), а в верхней части катены (в Э и ТЭ ландшафтах) – в верхней части профиля. По содержанию илистой фракции профили резко дифференцированы, происходит утяжеление ГС по катене от среднесуглинистого до легкоглинистого.

Доля илистой фракции закономерно увеличивается от 19,5 % в $A_{пах}$ до 40,1 % в породе. Ее распределение близко к нормальному практически во всех горизонтах кроме иллювиального B_2, в котором проявляется максимальное варьирование (по дисперсии). Содержание физической глины в почвах катены изменяется с 46,3 % в $A_{пах}$ до 63,0 % в почвообразующей породе. Распределение во всех горизонтах близко к нормальному. Почвообразующая порода характеризуется минимальным варьированием содержания и ила, и физической глины. Их накопление и наибольший размах варьирования отмечены в иллювиальном горизонте B_2 и переходном горизонте BC. Для почв эрозионно-аккумулятивной катены характерна выраженная гранулометрическая элювиально-иллювиальная дифференциация профиля с коэффициентом дифференциации по илу, равным 2,06, а по физической глине – 1,38. Наибольшая дифференциация профиля проявляется в почвах, формирующихся на Э и Т ландшафтах.

Критерием оценки структурной организации почв выступает энтропия – количественная характеристика вероятностных распределений свойств системы [8, 12, 25].

Энтропия ГС почв изменяется в пределах катены. Максимальные ее величины отмечены на склоне (вогнутая, выпуклая и выположенная части). Приняв энтропию ГС в почве на водоразделе в пахотном слое за исходный фон, мы рассчитали разницу между ее величинами по катене. Разница (ΔS_1) в пахотных слоях почв свидетельствует о том, что наибольшее разнообразие и неупорядоченность по ГС характерны для почвы транс-аккумулятивного ландшафта (ΔS_1= –0,10), затем на транзитной

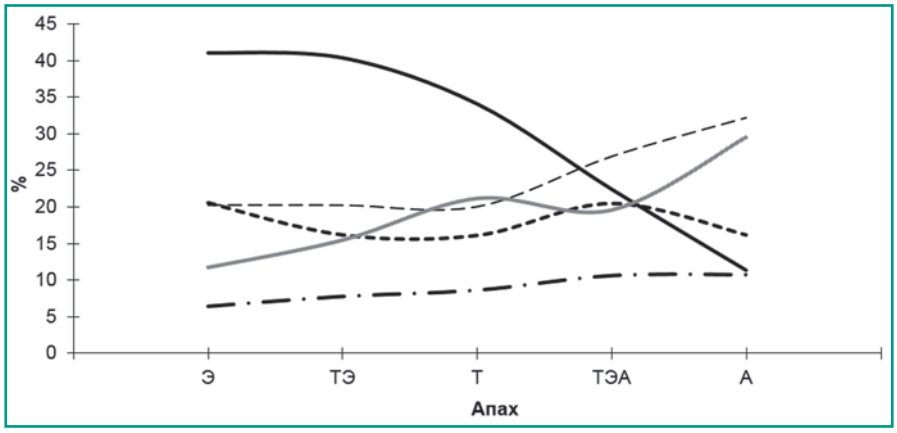


Рис. 2. *Пространственное распределение ЭПЧ в пахотном слое почв на эрозионно-аккумулятивной катене: ——— – песчаная; – – – – крупная пыль; —·— – средняя пыль; - - - - – мелкая пыль; ——— – ил.*

2. Корреляционная матрица связи (r)* между содержанием ЭПЧ и величиной энтропии

ЭПЧ, мм	Геохимический ландшафт				
	Э	ТЭ	Т	ТЭА	А
	Почвы				
	$П^{А}_{2}$САД	$Л_{1}$САД↓	Пд1САД↓↓	Пд1СЭД	$П^{А}_{4}$ГАД↓
1…0,25	0,96	0,87	0,93	0,35	0,79
0,25…0,05	0,87	0,93	0,72	0,08	0,71
0,05…0,01	0,14	0,51	-0,81	0,16	0,84
0,01…0,005	0,22	0,28	0,90	0,39	0,40
0,005…0,001	0,78	-0,25	-0,93	0,58	0,42
<0,001	-0,98	-0,99	-0,72	-0,92	-0,96

** коэффициенты корреляции при r=+0,39 и более достоверны на уровне значимости < 0,05*

(ΔS_1= –0,16) и трансэлювиальной (ΔS_1= –0,19) части склона. То есть почвы этих ландшафтов в большей степени подвержены процессам эрозии и неустойчивы к сельскохозяйственному использованию.

С помощью ΔS_2 ($S_{Апах}$–$S_{порода}$) установлено, что наиболее дифференцированы по профилю по содержанию ЭПЧ почвы элювиальных, трансэлювиальных и транзитных ландшафтов – 0,48; 0,31; 0,36 соответственно. В почвах ландшафтов с аккумуляцией, ΔS_2 варьирует в пределах 0,13…0,19. Энтропия, как характеристика варьирования ГС, отражает большую неоднородность профиля почв в верхней части катены на выпуклых и вогнутых склонах, что в свою очередь может служить мерой эродированности почв.

Установлено, что в почвах катены энтропия гранулометрического состава имеет сильную обратную связь с содержанием ила (табл. 2), причем в транзитном ландшафте она менее сильная, чем в транс-элювиальном (ТЭ) и элювиальном (Э). Для дерново-подзолистой почвы на элювиальном (Э) ландшафте значительный вклад в создание ГС вносит содержание песчаной фракции, особенно крупного песка.

В транс-элювиальном (ТЭ) ландшафте кроме песчаной фракции неоднородность в ГС вносит крупная пыль. В почве транзитного ландшафта (Т) с меньшим уклоном местности, величина энтропии зависит от содержания песчаной фракции и средней пыли, проявляется обратная корреляция с содержанием крупной и мелкой пыли, а также с илом. То есть неоднородность гранулометрического состава в этой части склона – результат максимального проявления эрозии.

В транс-элювиально-аккумулятивном ландшафте отмечена менее тесная связь, причем только с содержанием пылеватой фракции (0,01…0,001 мм) с преобладающим значением связи с мелкой пылью. При этом известно, что избыток неагрегированной мелкой пыли способствует уплотнению почв, увеличению набухаемости и усадки, ухудшению водопроницаемости, трещинноватости.

В аккумулятивном ландшафте все ЭПЧ участвуют в создании неоднородности и неупорядоченности дисперсности ГС. Значительную роль в этом играют крупная пыль и песчаная фракция.

Таким образом, с помощью энтропии определен вклад ЭПЧ в формирование гранулометрического состава. Установлено, что большую роль играет содержание частиц размером более 0,01 мм. Это указывает на то, что почвы могут обладать низкой поглотительной способностью, порозностью, способны к уплотнению, слабо набухают, легко распыляются, способны к заплыванию.

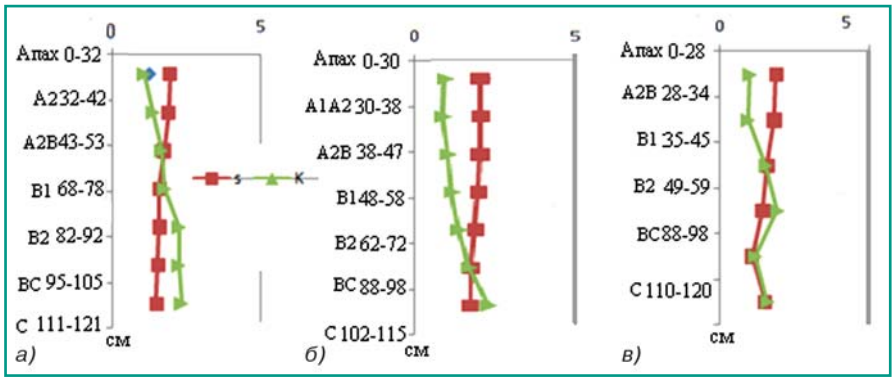


Рис. 3. *Профильное распределение показателей коэффициента эрозии (K) и энтропии (S): а) водораздел, $П^{0}_{2}$САД, разрез № 1, Э; б) вогнутая часть склона, $Л_{1}$САД↓, разрез № 2, ТЭ; в) выпуклая часть склона, $П^{0}_{1}$САД↓↓, разрез № 3, Т.*

Соотношения ЭПЧ в почвенном материале обусловливают эрозионную стойкость почв, которую определяют по отношению глинистой фракции к сумме крупнопылеватой и мелкопесчаной [1]. Для почв катены зафиксировано обеднение глинистой фракцией в элювиальных и транс-элювиальных ландшафтах. В аккумулятивных ландшафтах (ТЭА, А), напротив, содержание глинистой фракции выше, что способствует ухудшению водно-физических свойств, заплыванию, переувлажнению.

Представляет интерес совместное рассмотретние профильного распределения коэффициента эрозионной устойчивости и энтропии в почвах. В ландшафтах, где проявляются элювиальные и транзитные процессы (Э, ТЭ, Т), величины этих показателей пересекаются (рис. 3). Причем точка пересечения кривых сменяется с 45…50 см на Э ландшафте до 80 см на ТЭ ландшафте, а в Т ландшафте выделяются две точки пересечения на глубине около 50 и 100 см, а далее кривые сливаются в пределах профиля.

В ландшафтах с аккумуляцией вещества коэффициент эрозионной устойчивости менее, а энтропия более дифференцировано изменяются в пределах профиля. Профильные кривые имеют различные точки пересечения. Так, на выположенном участке склона они пересекаются на глубине около метра, на шлейфе склона на глубине 85 см (рис. 4).

Определена статистически достоверная тесная обратная связь (r= –0,70) между энтропией и коэффициентом

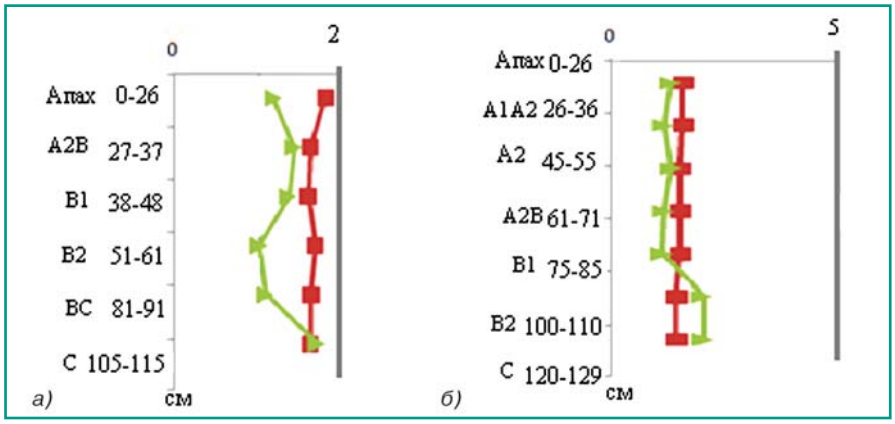


Рис. 4. *Профильное распределение показателей коэффициента эрозии (K) и энтропии (S) в ландшафтах с аккумуляцией вещества: а) выположенный участок склона, $П^{0}_{1}$СЭД, разрез № 4, ТЭА; б) шлейф склона, $П^{0}_{4}$ГАД↓, разрез № 5, А.*

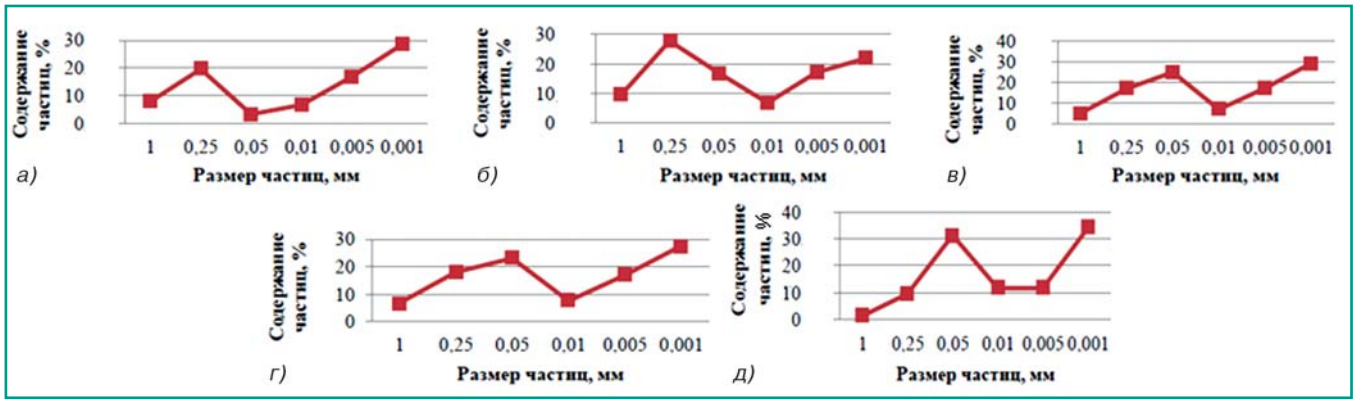


Рис. 5. *Структурные формулы ганулометрического состава почв: а) водораздел (Э), высота 230 м, разрез № 1 П°$_2$САД, 8:20:3:7:17:29; б) вогнутая часть склона (ТЭ), высота 225 м разрез № 2 Л$_1$САД↓, 9:28:17:7:17:22; в) выпуклая часть склона (Т), высота 220 м, разрез № 3 П°$_1$САД↓↓, 5:17:25:7:17:29; г) выположенный участок (ТА), высота 215 м, разрез № 4 П°$_1$СЭД, 7:18:23:8:17:28; д) шлейф склона (А), высота 211 м, разрез № П°$_4$ГАД↓, 1:10:31:12:12:34.*

эрозионной устойчивости – чем выше энтропия почв по ГС, тем менее устойчива почва к эрозии и смыву. Изучена зависимость коэффициента эрозионной устойчивости почв (Y) от энтропии (X). На этапе спецификации была выбрана парная линейная регрессия. Оценены её параметры методом наименьших квадратов. Получено линейное уравнение регрессии Y=30,952X–32,108. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 55 % общей вариабельности Y объясняется изменением X. Установлено также, что параметры модели статистически значимы.

Для диагностики эродированности почв использовали метод структурных формул ГС, который позволяет установить устойчивые соотношения фракций. Графическое изображение структурных формул показывает, что на водоразделе в дерново-среднеподзолистой почве на элювиальном ландшафте отмечается высокое содержание ила, среднего и мелкого песка (рис. 5а). В транс-элювиальном ландшафте на вогнутой части склона в светло-серой слабосмытой почве заметно выделяется по содержанию фракция среднего и мелкого песка при очень низком количестве средней пыли, что может свидетельствовать о слабой оструктуренности почвы (рис. 5б).

Структурные формулы на выпуклом и выположенном участках склона катены близки. В дерново-слабоподзолистых почвах происходит аккумуляция крупной пыли и ила (рис. 5 в, г), что может способствовать ухудшению технологических свойств почв. В аккумулятивном ландшафте в дерново-глубоко-подзолистой намытой почве отмечается почти равное содержание частиц крупной пыли и ила при содержании пылеватых и песчаных частиц в 3 раза меньше (рис. 5д). Отсутствие разбавления песчаными и пылеватыми частицами может привести к задержке влаги и в результате к оглеению и заболачиванию.

Структурные формулы гранулометрического состава по выявленным устойчивым соотношениям ЭПЧ в почвах позволяют выделить следующие особенности: снижение содержания песчаных частиц в профиле почв от элювиальных ландшафтов к аккумулятивным; устойчивое нарастание содержания фракции крупной пыли от 3 % на водоразделе до 31 % и ила от 22…29 до 34 %; стабильное средневзвешенное содержание средней и мелкой пыли в профиле почв по катене.

Установлена достоверная тесная и средняя прямая связь между средневзвешенным содержанием ЭПЧ и высотой местности, а также приращением энтропии (табл. 3).

Связь между содержанием ЭПЧ и коэффициентом эрозионной устойчивости математически достоверна. В большей степени величина этого коэффициента прямо зависит от содержания средней пыли и крупного песка, и обратно – от содержания ила. В первую очередь потоки воды выносят тонкие частицы, что и обусловливает снижение устойчивости почв к эрозии при повышенном содержании неагрегированного ила. Энтропия в большей степени зависит от содержания крупной пыли и мелкого песка и связана обратной зависимостью с содержанием ила, мелкой пыли, крупного песка.

Рассчитаны различные соотношения по средневзвешенному содержанию ЭПЧ, которые имеют достоверные взаимосвязи с высотой местности, коэффициентом эрозионной устойчивости, энтропией и приращением энтропии. Из этих соотношений выделяется разность между содержанием крупной пыли и илом, которая тесно связана со всеми показателями (кроме энтропии) и может служить диагностическим критерием для оценки эродированности почв.

Таким образом, местоположение почвы по высоте оказывает влияние на ГС в результате разного проявления денудации и крутизны склона, что сказывается на процессах, происходящих в почвах, и, соответственно, на распределении ЭПЧ и их соотношениях. Неоднородность гранулометрического состава, выявленная по энтропии, оказывает существенное влияние на устойчивость почв к эрозии на основании степени организованности дисперсной системы почв. Соотношения между ЭПЧ и фракциями варьируют в пределах катены, также изменяется и дифференциация профиля по содержанию ЭПЧ.

Применение современных подходов интерпретации ГС позволило выявить такие особенности изменения ГС в пределах катены, как накопление глинистой фракции вниз по профилю, с основной её концентрацией в переходных горизонтах; дифференциация глинных и песчаных компонентов по профилю; уменьшение содержания ила в почве с увеличением степени смытости.

3. Корелляционная матрица связи (r)* между показателями гранулометрического состава почв

Показатель**	Средневзвешенное содержание ЭПЧ						Соотношение средневзвешенного содержания ЭПЧ		
	1…0,25	0,25…0,05	0,05…0,01	0,01…0,005	0,005…0,001	<0,001	∑ (1,0…0,05) + (0,05…0,01)	∑ (0,01…0,005) + (< 0,001)	(0,05…0,01) – (< 0,001)
h	0,24	0,55	0,28	0,72	0,40	0,58	-0,33	-0,64	0,88
K	0,75	0,53	0,62	0,90	0,42	-0,92	0,85*	0,48	0,86
S	-0,67	0,87	0,14	0,87	-0,96	-0,98	0,48	0,36	0,19
ΔS	0,79	0,52	0,42	0,82	0,76	0,64	0,31	0,51	-0,81

** коэффициенты корреляции при r=0,48 и более достоверны на уровне значимости <0,05*
***h – высота, K – степень отсортированности, S – энтропия, ΔS – приращение энтропии*

Выявлены показатели, связанные с эрозионной устойчивостью почв, которые можно применять в качестве диагностических при оценке эродированности: энтропия, коэффициент эрозионной устойчивости, приращение энтропии, разница между средневзвешенным содержанием крупной пыли и ила. Их использование целесообразно для агроэкологической оценки гранулометрического состава, так как позволяет на ранних этапах выявить участки, испытывающие проявление эрозии, а также обеспечить рациональную и эффективную эксплуатацию эрозионно-опасных участков в сельскохозяйственном производстве.

Литература.

1. Заславский М. Н. Эрозия почв. М.: Мысль, 1978. 245 с.

2. Березин П. Н. Особенности распределения гранулометрических элементов почв и почвообразующих пород // Почвоведение. 1983. № 2. С. 52–64.

3. Гаврюхов А. Т., Штомпель Ю. А. Экологически устойчивые агроландшафты – основа прекращения деградации почв // Эрозия почв: Науч. тр. Почв, ин-та им. В. В. Докучаева под ред. А. Н. Каштанова. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2007. С.259–265.

4. Иванов Д. А., Рубцова Н. Е. Исследование факторов эрозионной деградации почв в пределах Евро-Северо-Востока РФ // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2010. № 4 (19). С. 29–34.

5. Теории и методы физики почв / под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. Тула: Гриф и К, 2007. 616 с.

6. Татаринцев В. Л. Гранулометрия агропочв юга Западной Сибири и их физическое состояние: монография. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. 261 с.

7. Татаринцев В. Л., Татаринцев Л. М. Агроэкологическая оценка гранулометрического состава почв Алтайского края // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2008. № 4. С. 43–52.

8. Михеева И. В. Изменение вероятностных распределений фракций гранулометрического состава каштановых почв Кулундинской степи под воздействием природных и антропогенных факторов // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1456–1467.

9. Телегуз О. В. Агроэкологическая оценка эродированных почв пахотных земель Львовской области // Материалы Всероссийской научной конференции XIV Докучаевские молодежные чтения / под ред. Б. Ф. Апарина. СПб.: Изд. Дом С.-ПГУ, 2011. С. 174–176.

10. Самофалова И. А. Системный анализ гранулометрического состава дерново-подзолистых почв // Актуальные проблемы аграрной науки в XXI веке: Материалы межд. научно-практической конференции, май 2014. ФГБОУ ВО «Пермская ГСХА». Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. С. 97–100.

11. Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.

12. Кирюшин В. И. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа современной агротехнологической политики России // Земледелие. 2000. № 3. С. 4–6.

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

14. Самофалова И. А., Мудрых Н. М., Карякина Е. В. Выделение агроэкологически однородных участков и их оценка (на примере фермерского хозяйства) // SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY. Azerbaijan National Academy of Science (NANA). Baku: «Elm», 2011. Vol. 20. № 2. P. 94–98.

15. Агроэкологическая типизация земель как основа совершенствования систем севооборотов и удобрений / И. А. Самофалова, Н. М. Мудрых, Н. Ю Каменских и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. N 5. С. 45–50.

16. Самофалова И. А., Лобанова Ю. А. Агроэкологическая типизация земель как основа внутрихозяйственного землеустройства // Материалы Международной научно-практической конференции «Научное и практическое обеспечение земельных отношений». Пермь: Пермская ГСХА, 2011. С. 148–153.

17. Самофалова И. А. Региональные закономерности гранулометрического состава в дерново-подзолистых почвах в Пермском крае // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конференции. Новосибирск: НГАУ, 2018. С. 167–173.

18. Михеева И. В. Вероятностно-статистическая оценка устойчивости и изменчивости природных объектов при современных процессах (на примере каштановых почв Кулудинской степи) / Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Институт почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 103 с.

19. Михеева И. В. Вероятностно-статистическое моделирование почвенных свойств и процессов: результаты и перспективы // Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева (Петразоводск-Москва, 13-18 августа 2012 г.). Петрозаводск: КНЦ РАН, 2012. Кн. 1. С. 168–169.

20. Почвы Оханского района Пермской области и рекомендации по их использованию (пояснительный текст к почвенной карте) / Составитель доц. Ю. К. Попов. Пермь: Пермский государственный сельскохозяйственный институт имени академика Д.Н. Прянишникова. Пермь, 1976. 62 с.

21. Агроклиматический справочник по Пермской области. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1959. 156 с.

22. Скрябина О. А. Почвообразующие породы Пермской области. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 1998. 32 с.

23. Коротаев Н. Я. Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. 279 с.

24. Урусевская И. С. Почвенные катены Нечерноземной зоны РСФСР // Почвоведение. 1990. № 9. С. 12–30.

25. Самофалова И. А. Математические методы интерпретации гранулометрического состава почв // Информационные системы и коммуникативные технологии в современном образовательном процессе: сборник научных трудов. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. С. 88–90.

Diagnosis of Soil's Erosion Index Using Modern Approaches to the Interpretation of Data on the Granulometric Composition

I. A. Samofalova
Perm State Agrarian and Technological University,ul. Petropavlovskaya, 23, Perm', 614000, Russian Federation

Abstract. *Erosion processes, prolonged machining, intensive crop cultivation are reflected in the granulometric composition of soils, which acts as a limiting factor in crop cultivation. It is believed that soil resistance to erosion is more dependent on the ratio of granulometric fractions. The purpose of the study was to identify indicators that diagnose soil erosion based on particle size distribution. The studies were carried out in the Perm region, where the territory is erosion-hazardous. On the catena of the southern exposure with a vertical drop from 230 to 215 m above sea level and a length of 415 m, 5 soil profiles were made on elements of relief of different steepness. Within the slope, eluvial, trans-eluvial, transit, trans-eluvial-accumulative, accumulative landscapes are distinguished. The granulometric analysis was performed according to N. A. Kachinsky. The granulometric composition of soils was interpreted according to the profile distribution of particles, structural formulas, entropy, coefficients and ratios. In the arable layer of soils, an increase in the particle size distribution along the catena from medium loam to light clay was noted. The greatest heterogeneity of the particle size distribution in the soil profile was established in the transit part of the slope, which is the result of the maximum manifestation of erosion. Using entropy, the contribution of elementary soil particles to the formation of the granulometric composition of soils was determined. The ratio of particles in the soil material determines the erosion resistance of soils. The coefficient of erosion resistance depends on the content of medium dust and coarse sand and inversely depends on the content of the sludge. Reliable close feedback was found between the entropy and the coefficient of erosion resistance. The structural formulas of particle size distribution are determined by the ratios of particles, which naturally vary in the soils along the slope. The difference between the weighted average coarse dust and silt content is closely related to the soil particle size distribution. The indicators associated with soil erosion resistance, which can be used to diagnose their erosion, are revealed: entropy, entropy increment, erosion resistance coefficient, the difference between the weighted average content of coarse dust and silt.*

Keywords: *soil erosion; geochemical landscapes; erosion-accumulative catena; relief element; diagnostics; entropy; structural formula; soil particle ratio; erosion resistance coefficient; heterogeneity.*

Author details: *I. A. Samofalova, Cand. Sc. (Agr.), assoc. prof. (e-mail: samofalovairaida@mail.ru).*

For citation: *Samofalova IA. [Diagnosis of soil's erosion index using modern approaches to the interpretation of data on the granulometric composition]. Zemledelie. 2020;(1):14-9. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10104.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10105
УДК 631.95:633.1

Влияние удобрений и сроков посева на формирование элементов структуры продуктивности овса

Л. К. БУТКОВСКАЯ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Д. Н. КУЗЬМИН, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: kdn1980@mail.ru)
В. В. КАЗАНОВ, научный сотрудник
Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», просп. Свободный, 66, Красноярск, 660041, Российская Федерация

Опыты проводили в 2015–2017 гг. в условиях Средней Сибири Красноярского края. Цель исследований – выявление влияния сроков посева и расчетных доз минеральных удобрений на урожайность и элементы ее структуры у раннеспелых и среднеспелых сортов ярового овса. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, среднемощный, тяжелого гранулометрического состава с высокой обеспеченностью основными элементами питания. В качестве материала для исследований использовали сорта (фактор А) ярового овса, занесенные в Госреестр по Красноярскому краю – раннеспелые Саян, Тубинский и среднеспелый Казыр. Посев (фактор В) осуществляли в два срока 18 и 28 мая. Минеральные удобрения (фактор С) вносили в дозе $N_{30}P_{30}K_{60}$ (на запланированную урожайность 3,0 т/га), контроль – без удобрений. Площадь делянки – 10 м², повторность 3-кратная, предшественник – чистый пар после зерновых, обработка почвы рекомендованная для зоны. У всех изученных сортов урожайность при первом сроке посева была на 0,1...0,2 т/га выше, чем при втором. В варианте с ранним посевом увеличивались такие элементы структуры урожайности, как количество зерен в колосе (на 1...2 шт.), продуктивный стеблестой (на 2...8 шт/м²). Все сорта овса проявили высокую отзывчивость на применение удобрений. Превышение сбора зерна, по сравнению с контролем, составило 0,05...0,42 т/га. При этом увеличивались продуктивный стеблестой (на 1...7 шт./м²), число зерен в колосе (на 1...2 шт.), масса 1000 зерен (на 1...2 г), продуктивная кустистость (на 0,5...1,0). Установлены высокие коэффициенты корреляции между урожайностью и числом зерен в колосе (в зависимости от срока посева и удобрения r=0,59 и 0,53 соответственно), между урожайностью и продуктивным стеблестоем в варианте «срок посева» r=0,67), между урожайностью и продуктивной кустистостью (вариант «удобрения» r=0,53).

Ключевые слова: *яровой овес (Avena sativa L.), срок посева, группа спелости, удобрение, урожайность, элементы структуры продуктивности.*

Для цитирования: *Бутковская Л. К., Кузьмин Д. Н., Казанов В. В. Влияние удобрений и сроков посева на формирование элементов структуры продуктивности овса // Земледелие. 2020. № 1. С. 20–22. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10105.*

Овес – ценная зерновая культура, используемая как в продовольственных, так и в кормовых целях. В Красноярском крае возделывают сорта ярового овса различных групп спелости. Общая площадь, занятая посевами этой культуры, составляет 160 тыс. га [1]. Причем для каждого из возделываемых сортов необходима своя технология возделывания, которая позволит с максимальной эффективностью использовать природные ресурсы зоны, а также уменьшить негативное воздействие на растения неблагоприятных агроклиматических условий.

Урожайность – основной критерий оценки эффективности того или иного агротехнического приема. Ее величина зависит от многих факторов, втом числе сроков посева и внесения удобрений [2].

Позднеспелые сорта рекомендуют сеять в ранние сроки ввиду возможности повреждения недозревших зерновок ранними заморозками в период вегетации. Как позднеспелые, так и среднеспелые сорта обычно более урожайны, но в условиях засухи могут снизить продуктивность до уровня раннеспелых сортов [3]. Климатические особенности каждый год проявляются по-разному. Поэтому сроки посева часто влияют на урожайность сильнее, чем другие агротехнические приемы [4].

Срок посева должен определяться применительно к конкретным условиям для каждой зоны, хозяйства, поля, культуры и сорта. Несмотря на то, что потери урожая могут быть как при поздних, так и при самых ранних сроках, в последнем случае они меньше на 7...10 % [5].

Овес лучше отзывается на внесение минеральных удобрений, чем яровая пшеница и ячмень. Для него характерен более растянутый период потребления питательных веществ и слабое накопление элементов минерального питания в начале вегетации [6].

Зерновую продуктивность определяют основные элементы ее структуры (масса1000 семян, число зерен в колосе, продуктивная кустистость) и их взаимодействие. Анализ этих элементов обеспечивает более обоснованный подход к вопросам формирования урожайности под действием природных и агротехнических факторов [7].

Цель исследований – выявление влияния сроков посева и минеральных удобрений на урожайность и элементы ее структуры у сортов ярового овса разных групп спелости.

Эксперименты проводили в 2015–2017 гг. в Красноярском НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН (Средняя Сибирь, Красноярский край) согласно методике полевого опыта [8]. Почва участка – чернозем обыкновенный, среднемощный, тяжелого гранулометрического состава с высокой обеспеченностью основными элементами питания ($N\text{-}NO_3$ – 7,4 мг/кг, P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 25,6 и 20,5 мг/100 г соответственно, содержание гумуса (по Тюрину) – 4,3...6,4%.

Метеоусловия 2015 и 2016 гг. складывались благоприятно для овса (ГТК вегетационного сезона 1,20 и 1,24 соответственно). Количество осадков и температура воздуха в период вегетации находились на уровне среднемноголетних. В августе и сентябре отмечали сухую и теплую погоду, что способствовало своевременной уборке. В 2017 г. среднесуточная температура воздуха была выше среднемноголетней на 0,8...3,6 °С, в августе выпало большое количество осадков и вегетационный

1. Влияние сроков посева, удобрений на урожайность и элементы ее структуры у ярового овса (среднее за 2015–2017 гг.), т/га

Сорт (фактор А)	Срок посева (фактор В)	Урожайность, т/га		Масса 1000 зерен, г		Число зерен в колосе, шт.	
		без удобрений (контроль)	$N_{30}P_{30}K_{60}$ (фактор С)	без удобрений (контроль)	$N_{30}P_{30}K_{60}$ (фактор С)	без удобрений (контроль)	$N_{30}P_{30}K_{60}$ (фактор С)
Тубинский	18 мая	2,74	2,92	38,0	40,0	36	38
	28 мая	2,64	2,84	39,0	39,7	35	36
Саян	18 мая	2,90	3,04	42,4	43,1	36	38
	28 мая	2,70	2,83	44,3	42,8	34	36
Казыр	18 мая	2,64	3,06	40,0	42,2	38	39
	28 мая	2,48	2,80	41,0	43,5	36	37
$НСР_{05}$ фактор А		0,08		0,6		1	
$НСР_{05}$ фактор В		0,06		0,4		1	
$НСР_{05}$ фактор С		0,04		0,3		1	

период несколько затянулся (ГТК вегетационного сезона 2,21).

В качестве материала исследований использовали сорта (фактор А) ярового овса, занесенные в Госреестр по Красноярскому краю – раннеспелые Саян и Тубинский и среднеспелый Казыр.

Сроки посева (фактор В) – ранний 18 мая и поздний 28 мая.

Минеральные удобрения (фактор С) вносили перед посевом сеялкой СЗП-3,6 в дозе $N_{30}P_{30}K_{60}$ (на запланированную урожайность 3,0 т/га), контроль – без удобрений.

2. Влияние сроков посева и удобрений продуктивный стеблестой кустистость ярового овса (среднее за 2015–2017 гг.), т/га

Сорт (фактор А)	Срок посева (фактор В)	Продуктивный стеблестой, шт./м²		Продуктивная кустистость	
		без удобрений (контроль)	$N_{30}P_{30}K_{60}$ (фактор С)	без удобрений (контроль)	$N_{30}P_{30}K_{60}$ (фактор С)
Тубинский	18 мая	133	138	1,14	1,22
	28 мая	126	127	1,21	1,27
Саян	18 мая	128	130	1,20	1,23
	28 мая	123	129	1,22	1,24
Казыр	18 мая	137	133	1,20	1,30
	28 мая	129	125	1,20	1,26
$НСР_{05}$ фактор А		17			
$НСР_{05}$ фактор В		16			
$НСР_{05}$ фактор С		18			

Площадь делянки – 10 м², повторность 3-кратная, предшественник – чистый пар после зерновых, обработка почвы стандартная для зоны.

Учитывали урожайность, элементы ее структуры, а также посевные качества собранных семян (ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 12042-80).

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием пакета прикладных программ Snedekor.

Урожайность сортов овса различных групп спелости одинаково зависела от сроков посева (табл. 1).

При первом сроке посева раннеспелый сорт Саян и среднеспелый Казыр сформировали урожайность на 0,20 и 0,16 т/га выше, чем при втором. Аналогичную тенденцию отмечали на фоне минеральных удобрений – прибавка у сорта Саян составила 0,21 т/га, у сорта Казыр – 0,26 т/га. В контроле наибольшую урожайностью (2,90 т/га) при раннем сроке сформировал сорт Саян.

Все исследуемые генотипы проявили отзывчивость на применение удобрений. Повышение урожайности, по сравнению с контролем, составляло 0,05...0,42 т/га. Наибольшая прибавка отмечена у сорта Казыр: при первом сроке посева – 0,42 т/га, при втором – 0,32 т/га.

При размножении сортов возникает необходимость создания таких условий, которые бы способствовали формированию крупного зерна с большой массой 1000 зерен. Число зерен в колосе, как один из элементов структуры урожайности, может варьировать в широких пределах под воздействием факторов среды и тесно связан, как с биологическими особенностями сорта, так и с воздействием технологических приемов [9].

В наших опытах у всех сортов масса 1000 зерен при позднем сроке посева оказалась выше на 1...2 г, по сравнению с ранним, и варьировала от 38,0...42,4 в первый срок посева, до 39,0...44,3 г во второй. Озерненность колоса при раннем посеве была выше, по сравнению с поздним, на 1...2 шт. у всех сортов и во всех вариантах и варьировала в пределах 34...39 шт.

У сортов Тубинский и Казыр в варианте с применением удобрений при обоих сроках посева масса 1000 зерен была больше, чем в контроле, на 0,7...2,5 г. У Саяна подобный эффект от применения удобрений зафиксировали только при первом сроке посева. Урожайность при этом возросла у всех сортов на 0,13...0,42 т/га , количество зерен в колосе – на 1...2 шт.

У одних сортов уровень урожайности определяют озерненность колоса, масса 1000 зерен, у других – продуктивный стеблестой, продуктивная кустистость [10]. Увеличение продуктивного стеблестоя отмечали у всех сортов овса при раннем сроке посева, по сравнению с поздним, на 2...8 шт./м² (табл. 2).

Внесение удобрений также повышало количество продуктивных стеблей на 1 м², особенно у раннеспелых сортов Саян и Тубинский, – до 7 шт./м².

Продуктивная кустистость у всех сортов оставалась высокой при посеве во второй срок, в то время как большая урожайность формировалась при первом сроке. Продуктивная кустистость увеличивалась с внесением удобрений сильнее всего у сортов Тубинский и Казыр – от 0,06 до 0,10.

Корреляционный анализ позволил выявить сопряженность между отдельными элементами продуктивности и урожайностью (табл. 3). Расчет проводили отдельно для факторов «срок посева» и «удобрения». Между урожайностью и числом зерен в колосе корреляция была тесная положительная в обоих вариантах (r=0,59 и 0,53 соответственно). Между урожайностью и продуктивным стеблестоем отмечена тесная положительная связь по фактору «срок посева» (r=0,67) и средняя положительная в варианте «удобрения» (r=0,42). Между урожайностью и продуктивной кустистостью по фактору «срок посева» связь была средней положительной,

3. Коэффициенты корреляции между урожайностью и элементами структуры продуктивности

Вариант	Масса 1000 зерен	Число зерен в колосе	Продуктивный стеблестой	Продуктивная кустистость
Срок посева	0,24	0,59	0,67	0,41
Удобрения	0,40	0,53	0,42	0,53

в варианте «удобрения» – тесная положительная. Между урожайностью и массой 1000 зерен установлены слабые положительные коэффициенты корреляции по фактору «срок посева» и средние положительные в варианте «удобрения».

Таким образом, при первом сроке посева, как раннеспелые сорта Саян и Тубинский, так и среднеспелый сорт Казыр сформировали урожайность выше на 0,20 и 0,16 т/га соответственно, по сравнению со вторым сроком. В этом варианте увеличивались показатели элементов структуры продуктивности: количество зерен в колосе – на 1…2 шт., продуктивных стеблей – на 2…8 шт./м^2.

Внесение удобрений способствовало росту сбора зерна всех сортов на 0,05...0,42 т/га благодаря увеличению количества зерен в колосе на 1…2 шт., продуктивных стеблей на 1 м^2 – на 1…7 шт., продуктивной кустистости – на 0,5…1,0.

Установлены высокие коэффициенты корреляции между урожайностью и числом зерен в колосе (в зависимости от срока посева и удобрения r=0,59 и 0,53 соответсвенно), между урожайностью и продуктивным стеблестоем по фактору «срок посева» r=0,67), между урожайностью и продуктивной кустистостью (фактор «удобрения» r=0,53).

Литература.

1. Семеноводство зерновых и зернобобовых культур в Красноярском крае: руководство / Н. А. Сурин, Л. К. Бутковская, Н. В. Зобова и др.; под общ. ред. Н. А. Сурина. Красноярск: Красноярский НИИСХ 2013. 99 с.
2. Сурин Н. А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес). Новосибирск: ИЦ ГНУ СибНСХБ, 2011. 708 с.
3. Яхтенфельд П. А. Культура яровой пшеницы в Сибири. М.: Сельхозиздат, 1961. 359 с.
4. Коданев И. М. Повышение качества зерна. М.: Колос, 1976. 304 с.
5. Крупкин П. И. Удобрение и урожай. Красноярск: Кн. изд-во, 1970. 140 с.
6. Яровые зерновые хлеба: биология и технологии возделывания : монография / Н. М. Белоус, В. В. Ториков, Н. С. Шпилев и др. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2010. 124 с.
7. Писарев В. Е. Селекция зерновых культур. М.: Колос, 1964. 317 с.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).М.: «Книга по требованию», 2012. 352 с.
9. Озимый ячмень / Л. Райнер, И. Штайнбергер, У. Дееке и др. М.: Колос, 1980. С. 63–64.
10. Трофимовская А. Я. Ячмень эволюция, классификация, селекция). Л.: Колос, 1972. 290 с.

Effect of Fertilizers and Sowing Time on the Formation of Structure Elements of Oat Productivity

L. K. Butkovskaya, D. N. Kuz'min, V. V. Kazanov
Krasnoyarsk Agricultural Research Institute, Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the SB of the RAS", prosp. Svobodnyi, 66, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Abstract. *The experiments were carried out in 2015-2017 under conditions of Central Siberia of the Krasnoyarsk Krai. The research aimed to identify the influence of sowing time and mineral fertilizers on the yield and structural elements of early and medium-ripening varieties of spring oats. The soil of the experimental plot was ordinary chernozem, medium-thick, of heavy granulometric composition, with a high supply of main nutrients. Varieties (factor A) of spring oats, registered in the State Register for the Krasnoyarsk Krai (Sayan, Tubinsky and Kazyr), were used as material for the research. Sowing (factor B) was carried out on two dates: May 18 and May 28. Mineral fertilizers (factor C) were applied at a dose of N30P30K60 (for the planned yield of 3.0 t/ha); the control was without fertilizers. The plot's square was 10 m2; the experiment was repeated three times. The forecrop was bare fallow after cereals; the soil treatment was standard for the zone. Both early maturing Tubinsky and Sayan varieties and middle-ripening Kazyr variety showed excess yield on the first sowing date by 0.1–0.2 t/ha compared to the second one. With early sowing, such elements of the yield structure increased as the number of grains in the ear (by 1–2 pcs), a number of productive stems (by 2–8 pcs/m2). All varieties of oats showed high responsiveness to the use of fertilizers. The excess of grain collection, compared with the control, amounted to 0.05–0.42 t/ha. At the same time, it was increased the number of productive stems (by 1–7 pcs/m2), the number of grains per ear (by 1–2 pcs), the weight of 1000 grains (by 1–2 g), productive tillering (by 0.5–1.0). High correlation coefficients were established between the yield and the number of grains per ear (depending on the sowing date and fertilizing rat, r = 0.59 and 0.53, respectively), between the yield and the number of productive stems in the "sowing dare" variant r = 0.67), between productivity and productive bushiness (variant of "fertilizer" r = 0.53).*

Keywords: *spring oats (Avena sativa L.), sowing date, maturity group, fertilizer, yield, yield structure elements.*

Author Details: *L. K. Butkovskaya, Cand. Sc (Agr), leading researcher fellow; D. N. Kuz'min, Cand. Sc (Agr), leading researcher fellow (e-mail: kdn1980@mail.ru); V. V. Kazanov, researcher fellow.*

For citation: *Butkovskaya LK, Kuz'min DN, Kazanov VV. [Effect of fertilizers and sowing time on the formation of structure elements of oat productivity]. Zemledelie. 2020;(1):20-2. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10105.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10106
УДК 631.174: 632.95.027: 633.853.52(571.61)

Влияние гербицидов на видовой состав сорняков и продуктивность посевов сои

В. В. ЕПИФАНЦЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, (e-mail: viktor.iepifantsiev.59@mail.ru)
А. Н. ПАНАСЮК, доктор технических наук, директор
Я. А. ОСИПОВ, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Ю. А. ВАЙТЕХОВИЧ, младший научный сотрудник
С. В. АНДРИЕНКО, агроном
Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, ул. Василенко, 5, Благовещенск, 675027, Российская Федерация.

В условиях Амурской области в 2016–2018 гг. изучали влияние различных баковых смесей гербицидов на видовой состав сорняков и урожайность посевов сои. Схема опыта включала шесть вариантов: без обработки (контроль); после посева – Гонор, КС 2 л/га + Сапфир, ВРК 0,5 л/га, по вегетации – Барон, ВР 2 л/га + Берилл, КЭ 0,5 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га; после посева – Гонор, КС 2,5 л/га + Сапфир, ВРК 0,5 л/га, по вегетации – Барон, ВР 2,2 л/га + Канон, КЭ 1,0 л/га + Сапфир, ВРК 0,2 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га; по вегетации – Барон, ВР 2,5 л/га + Берилл, КЭ 1,2 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га; по вегетации – Барон, ВР 2,5 л/га + Канон, КЭ 0,35 л/га + Берилл, КЭ 0,65 л/га + Лип, ВДГ 0,1 л/га; после посева – Бегин, КЭ 1,6 л/га, по вегетации – Базагран, ВР 2,0 л/га + Зодиак, ВР 0,8 л/га + ГалактАлт, КЭ 0,2 л/га. Все изучаемые гербициды уничтожают в посевах сои дурнишник сибирский (Xanthium sibiricum L.) и снижают количество мари белой (Chenopodium album L.), пикульника двураздельного (Galeópsis bífida L.), щетинника сизого (Setaria viridis L.), коммелины обыкновенной (Commelina communis L.) и хвоща полевого (Equisétum arvénse L.). При этом масса сорняков уменьшается в 2…5 раз. В варианте с применением после посева баковой смеси гербицидов Гонор, КС 2 л/га + Сапфир, ВРК 0,5 л/га и по вегетации – Барон, ВР 2 л/га + Берилл, КЭ 0,5 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га сорняки остаются только в нижнем ярусе, урожайность семян сои при этом увеличивается, в сравнении с необработанными делянками, на 135,6 %, соломы – на 98,9 %.

Ключевые слова: *гербицид, смеси, вид, сорное растение, соя (Glycine max L.), урожайность.*

Для цитирования: *Влияние гербицидов на видовой состав сорняков и продуктивность посевов сои / В. В. Епифанцев, А. Н. Панасюк, Я. А. Осипов и др. // Земледелие. 2020. № 1. С. 22–26. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10106.*

На территории России встречается около 2000 видов сорных растений. Их флористический состав на сельскохозяйственных угодьях включает более 1100 видов [1]. На полях, лугах и пастбищах Дальневосточного региона произрастает до 160 сорных видов. Их влияние на культурные растения сильно варьирует по природным зонам и зависит от уровня интенсификации земледелия [2].

Сорняки потребляют из почвы много воды и питательных веществ, уменьшая их доступность для сельскохозяйственных растений. Они развиваются быстрее, обгоняя культивируемые виды в росте, затеняя и заглушая. Сорные растения затрудняют и усложняют уход за посевами, уборку урожая, ухудшают качество работы сельскохозяйственных машин. Сильно засоренные поля требуют дополнительной обработки почвы, что приводит к повышению затрат труда, топлива и денежных средств, в связи с чем увеличивается себестоимость выращенной продукции. При уборке урожая с засоренных полей возрастает влажность продукции, что осложняет ее очистку и хранение. Примеси семян сорняков при обмолоте, а затем при размоле ухудшают качество муки, делая их непригодными для употребления в пищу человека и на корм животным [3]. При массовом распространении амброзии полынолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.), полыни (*Artemisia absinthium* L.), лебеды (*Chenopodium album* L.), дикой конопли (*Cannabis* L.) и других видов сорняков у людей проявляются аллергические болезни. Сорные растения выступают посредниками при распространении вредителей и болезней культурных видов (ржавчины – *Puccinia recondita*, ложной мучнистой росы – *Pseudoperonospora cubensis*, рака – *Synchýtrium endobióticum*, килы – *Plasmodiophora Brassicae* и др.) [3].

Сорняки обладают большой плодовитостью, их прорастание затягивается на длительный период, а созревание происходит несколько раньше, чем у культурных растений. Сорные растения способны распространятся на большие расстояния, их семена не теряют всхожести, находясь в почве, навозе, воде, силосе, проходя через кишечник животных и птиц, в течение длительного времени. На видовой состав сорной растительности и урожайность сои оказывает влияние комплекс абиотических и биотических факторов, но регулирующая роль отводится антропогенному воздействию [1].

При планировании мероприятий по борьбе с сорняками за основу берут их видовой состав, биологические особенности, состояние (семена, всходы, взрослые растения и др.) и степень засоренности. Против преобладающих видов сорняков используют предупредительные и истребительные меры. Истребительные мероприятия основаны на комплексной (интегрированной) системе, сочетающей агротехнические, биологические, химические, экологические и другие методы защиты культурных растений, позволяющей снизить их численность до экономических порогов вредоносности. Если агротехнические и биологические способы не дают желаемого результата, особенно при сплошном посеве сои, для уничтожения сорняков используют гербициды [4].

По мнению ученых, в разных регионах страны в посевах сои наиболее вредоносны малолетние и многолетние сорняки верхнего яруса – осот (*Sónchus arvénsis* L.), бодяк (*Cirsium arvense* L.), щирица (*Amaránthus retrofléxus* L.) и др. На Дальнем Востоке однолетние мятликовые сорняки прорастают в первой декаде июня (в период всходов), затем во второй декаде июня, потом в третьей декаде июля–начале августа, более 80 % из них всходят до середины июня [5].

В пахотном слое почв насчитывается до 1,5 млрд/га семян сорняков, в посевах до 900…1100 шт./м^2 при их массе до 2500…3000 г/м^2. В зависимости от степени засоренности посевов урожайность сои снижается на 0,12…1,03 т/га [5].

Для борьбы с сорными растениями в посевах сои эффективен довсходовый гербицид Трофи 90, КЭ (900 г ацетохлора/л, химический класс хлорацетамиды), а при засорении такими поздними яровыми двудольными видами, как трехреберник (*Tripleurospérmum inodórum* L. Sch., Bip.), ромашка пахучая (*Matricária discoídea DC.*) и др. – послевсходовый гербицид Пивот, ВК (100 г имазетапира/л, химический класс имидазолионы). По данным ученых СибНИИ кормов, в посевах сои был результативен почвенный гербицид Трефлан, КЭ (480 г трифлуралина, химический класс динитроанилины), сбор семян при его применении повысился на 0,31 т/га [6].

На современном рынке гербициды представлены в большом ассортименте и различаются по эффективности, спектру действия и другим свойствам. При этом некоторые из них требуют дальнейшего изучения. Следовательно, выбранное направление исследований актуально на современном этапе развития земледелия.

Цель исследований – установить влияние новых гербицидов и их смесей на видовой состав сорняков и продуктивность сои в условиях южных районов Амурской области.

Работа выполнена в 2016–2018 гг. в Тамбовском районе Амурской области на опытном поле ФГБНУ ДальНИИМЭСХ. Почва лугово-черноземовидная. Мощность пахотного слоя до 25 см. Содержание гумуса в пахотном горизонте колеблется от 2,5 до 3,4 %, подвижного фосфора – 50…100 мг/кг, обменного калия – 120…250 мг/кг. Реакция почвенного раствора (pH_{KCl}) 4,8…5,9.

Лето 2016 г. было самым прохладным и сухим, по сравнению с последующими годами исследований. Вегетационный период 2017 г. характеризовался, как наиболее теплый и умеренно влажный. Летний сезон 2018 г. по распределению температур и осадкам превышал многолетние показатели (табл. 1).

1. Погодные условия летнего периода вегетации (данные ГМС г. Благовещенск)

Месяц	Температура воздуха, С°			Средняя многолетняя, tС °	Осадки, мм.			Средние многолетние, мм
	2016 г.	2017 г.	2018 г.		2016 г.	2017 г.	2018 г.	
Июнь	17,0	19,0	17,9	18,8	100	97	168	91
Июль	22,3	22,5	22,3	21,5	39	89	159	131
Август	19,4	19,9	20,1	19,2	83	121	100	125
За лето	19,6	20,5	20,1	19,8	222	307	427	347

С понижением температуры эффективность действия гербицидов уменьшается. Для большинства современных препаратов ее оптимальная величина находится в пределах 17…30 ^{0}С. Сухая и солнечная погода благоприятна для контактных гербицидов, а влажная хорошо обработанная почва – для препаратов корневого действия [7].

Опыты закладывали согласно следующей схеме: 1) без обработки (контроль);

2) после посева – Гонор, КС (500 г/л прометрина, химический класс триазины), 2 л/га + Сапфир, ВРК (100 г/л имазетапира, химический класс имидазолиноны), 0,5 л/га, затем по вегетации – Барон, ВР (480 г/л бентазона, химический класс бензотиадиазоны), 2 л/га + Берилл, КЭ (120 г клетодима/л, химический класс циклогександионы), 0,5 л/га + Лип, ВДГ (900 г/л этоксилат изодеци-

лового спирта, химический класс бензимидазолы + триазолы), 0,2 л/га;

3) после посева – Гонор, КС, 2,5 л/га + Сапфир, ВРК, 0,5 л/га, затем по вегетации – Барон, ВР, 2,2 л/га + Канон, КЭ (104 г галоксифопа-Р-метила/л, химический класс арилоксиалканкарбоновые кислоты), 1,0 л/га + Сапфир, ВРК, 0,2 л/га + Лип, ВДГ, 0,2 л/га;

4) по вегетации – Барон, ВР, 2,5 л/га + Берилл, КЭ, 1,2 л/га + Лип, ВДГ,0,2 л/га;

5) по вегетации – Барон, ВР, 2,5 л/га + Канон, КЭ, 0,35 л/га + Берилл, КЭ, 0,65 л/га + Лип, ВДГ, 0,1 л/га;

6) после посева – Бегин, КЭ (960 г/л С-метолахлора, химический класс амиды, хлорацетамиды), 1,6 л/га, затем по вегетации – Базагран, ВР (480 г/л бентазона, химический класс бензотиадиазоны) 2,0 л/га + Зодиак, ВР (40 г/л имазамокса, химический класс имидазолиноны) 0,8 л/га + ГалактАлт, КЭ (104 г/л галоксифоп-Р-метила, химический класс арилоксиалканкарбоновые кислоты), 0,2 л/га (такую схему защиты используют в хозяйствах области).

Для определения биологической эффективности в состав баковой смеси был включен гербицид Берилл, КЭ не разрешенный Каталогом пестицидов, но имеющий аналогичное действующее вещество с препаратами Клетодим Плюс Микс, КЭ (240 г/л клетодима), Граминион, КЭ (150 г/л клетодима), Легион, КЭ (240 г/л клетодима), Эфес (240 г/л клетодима) и другими разрешенными к применению на сое. Лип, ВДГ содержит этоксилат изодецилового спирта – вспомогательное, неионогенное поверхностно-активное вещество, применяемое в смесях с гербицидами. Оно способствует лучшему прилипанию и поглощению гербицидов сорными растениями.

Исследования проводили на сорте сои Лазурная. Предшественник – пшеница яровая. Посев осуществляли сеялкой СЗ-5,6 сплошным рядовым способом (ширина междурядий 15 см). Срок посева 26 мая. Норма высева 120 кг/га, или 800 тыс. шт. всхожих семян/га. Гербицидную обработку выполняли согласно инструкциям производителей. Посевная площадь делянок 84 м^2, учетных – 56 м^2, повторность 3-х кратная, размещение рендомизированное. Данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [8].

При наличии большого числа сравниваемых групп сорных растений теоретически, Р-значения, получаемые с использованием критерия Стьюдента можно скорректировать поправкой Бонферрони, но этот метод консервативен и не позволяет точно проверить нулевую гипотезу. Для выполнения большого числа попарных сравнений групповых средних использовали критерий достоверно значимой разности Тьюки. При упорядочивании всех имеющихся групповых средних значений в опыте по возрастанию (от 1 до mm) сравнивали mm-ое с 1-ым, затем mm-ое со 2-ым, 3-м, и так далее до тех пор, пока не были перебраны все пары. Затем с использованием критерия Тьюки рассчитывали стандартную ошибку.

Кроме того, в опыте проводили ряд сопутствующих наблюдений: определяли фазы роста и развития сои и сорняков (начало – у 10 % растений, массовое прохождение – более чем у 50 %, окончание – не менее чем у 80 %) для записи использовали систему знаков, разработанную А. М. Туликовым; для оценки засоренности определяли показатели обилия (численность и массу, проектное покрытие по методу Л. Г. Раменского) с помощью рамки, весов, мерной линейки, а также встречаемость и ярусность сорняков в посевах (методом А. И. Мальцева). В опыте применяли количественные и глазомерные методы, данные сравнивали с разработанными шкалами оценки, описанными в пособии [9].

Численность или плотность (видов, групп сорняков, всего агрофитоценоза) определяли на 1 м^2. Массу (сырых, в абсолютно сухом и воздушно-сухом состоянии) всех надземных органов растений взвешивали и фиксировали в г/м^2 [9].

Преобладающими видами группы малолетних сорных растений на делянках без обработки гербицидами были щетинник сизый (*Setaria viridis* L.), пикульник двураздельный (*Galeópsis bífida* L.) и коммелина обыкновенная (*Commelina communis* L.), из группы многолетних – хвощ полевой (*Equisétum arvénse* L.) и осот полевой (*Sónchus arvénsis* L.). (табл. 2).

Кроме того, в экспериментальных посевах сои встречали такие яровые ранние малолетние сорняки, как марь белая (*Chenopodiumalbum* L.); яровые поздние – щирица (*Amaránthus retrofléxus* L.), дурнишник (*Xanthium sibiricum* L.), соя уссурийская (*Glicine soja* (MOCNCH) F.); многолетние корнеотпрысковые – бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.), стержнекорневые – полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.).

Перед наливом бобов сои в контрольном варианте присутствовали щетинник сизый (*Setaria viridis* L.) – 124 шт./м^2, осот полевой (*Sónchus arvénsis* L.) – 32 шт./м^2, хвощ полевой (*Equisétum arvénse* L.) – 32 шт./м^2, пикульник двураздельный (*Galeópsis bífida* L.) – 28,2 шт./м^2, единичные растения дурнишника сибирского (*Xanthium sibiricum* L.) – 1 шт./м^2, мари

2. Влияние смесей гербицидов на видовой состав сорняков в посевах сои, шт./м^2*

Название сорняков	Вариант					
	1**	2	3	4	5	6
	Малолетние яровые ранние					
Марь белая (*Chenopodium album* L.)	4	1,3	0	0	2,3	1,3
	яровые поздние					
Щирица запрокинутая (*Amaránthus retrofléxus* L.)	10,0	8,0	0	6,6	26,6	16,0
Дурнишник сибирский (*Xanthium sibiricum* L.)	1,0	0	0	0	0	0
Пикульник двураздельный (*Galeópsis bífida* L.)	28,2	26,6	13,3	17,3	24,6	20,0
Щетинник сизый (*Setaria viridis* L.)	124	2,1	46,6	0	10,6	77,2
Коммелина обыкновенная (*Commelina communis* L.)	25,3	13,3	10,6	22,6	16,6	8,3
Соя уссурийская (*Glicine soja* (MOCNCH) F.)	0	1,3	0	0	0	0
	Многолетние корнеотпрысковые					
Осот полевой (*Sónchus arvénsis* L.)	32,0	2,6	26,6	18,6	4,0	36,6
Бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.)	0	0	0	0	6,6	5,3
стержнекорневые						
Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.)	0	0	0	0	1	0
корневищные						
Хвощ полевой (*Equisétum arvénse* L.)	38	33,3	20	26,6	0	18,0

**ошибка разности средних s_d по численности сорняков – 8,69 шт., $НСР_{05}$ – в абсолютных величинах 19,4 шт./м^2, в относительных – 14,3 %;*

***1 – без обработки (контроль), 2 – Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ; 3 – Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Канон, КЭ Сапфир, ВРК + Лип, ВДГ; 4 – Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ; 5 – Барон, ВР + Канон, КЭ + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ; 6 – Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ.*

белой (*Chenopodium album* L.) – 4 шт./м^2 и щирицы запрокинутой (*Amaránthus retrofléxus* L.) – 10 шт./м^2. Численность щетинника сизого (*Setaria viridis* L.) на необработаных гербицидами делянках была в 1,6...100, раз больше, чем в других вариантах опыта. В основном он размещался в верхнем ярусе. Несмотя на принадлежность к одной биологической группе сорняков, щетинник сизый опережал в росте, развитии и угнетал растения щирицы запрокинутой, а также многолетние корнеотпрысковые виды осот полевой и бодяк полевой.

В варианте 6 с применением гербицидов Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ в видовом составе сорняков в посевах сои преобладали щетинник и осот. По сравнению с необрабатываемым фоном, численность щетинника сизого снизилась в 1,6 раза, а осота полевого перед созреванием бобов повысилась на 4,6 шт./м^2. При этом она достигала 77,2 шт./м^2 и 36,6 шт./м^2 соответственно и была выше, чем в других вариантах с внесением гербицидов. Несмотря на то, что после использования гербицидов сначала отмечали увядание и засыхание осота полевого, щирицы запрокинутой и других сорняков, обильные осадки второй половины лета спровоцировали отрастание их отпрысков и появление новых растений.

При использовании сочетания Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Канон, КЭ + Сапфир, ВРК + Лип, ВДГ численность щетинника сизого снизилась, по сравнению с вариантом 6, в 1,7 раза, осота полевого на 10 шт./м^2. В варианте с обработкой после посева баковой смесью гербицидов Гонор, КС, 2 л/га + Сапфир, ВРК, 0,5 л/га и по вегетации – Барон, ВР, 2 л/га + Берилл, КЭ, 0,5 л/га + Лип, ВДГ, 0,2 л/га, преобладающими видами сорняков были хвощ полевой – 33,3 шт./м^2 и пикульник двураздельный – 26,6 шт./м^2, однако они размещались в нижнем ярусе. В верхнем ярусе отмечали единичные и групповые растения щирицы (8 шт./м^2) и осота полевого (2,6 шт./м^2). При использовании после посева сои баковой смеси препаратов Гонор, КС, 2,5 л/га + Сапфир, ВРК, 0,5 л/га и по вегетации – Барон, ВР, 2,2 л/га + Канон, КЭ, 1,0 л/га + Сапфир, ВРК, 0,2 л/га + Лип, ВДГ, 0,2 л/га, наблюдали такие виды сорняков, как щетинник сизый – 46,6 шт./м^2, осот полевой – 26,6 шт./м^2 и хвощ полевой – 20 шт./м^2. В верхнем ярусе отмечали единичные и групповые растения осота полевого численностью 9,3 шт./м^2, в среднем и нижнем их было 17,3 шт./м^2. При обработке вегетирующих растений комбинацией Барон, ВР, 2,5 л/га + Берилл, КЭ, 1,2 л/га + Лип, ВДГ, 0,2 л/га преобладающими видами сорняков были хвощ полевой – 26,6 шт./м^2, коммелина обыкновенная – 22,6 шт./м^2, осот полевой – 18,6 шт./м^2. В верхнем ярусе размещались единичные и групповые растения осота полевого – 13,3 шт./м^2 и щирицы запрокинутой – 6,6 шт./м^2. После обработки вегетирующей сои смесью Барон, ВР, 2,5 л/га + Канон, КЭ, 0,35 л/га + Берилл, КЭ, 0,65 л/га + Лип, ВДГ, 0,1 л/га численность мари белой к уборке возросла до 2,3 шт./м^2, щирицы запрокинутой – до 25,6 шт./м^2. В состав применяемой смеси входили как системные (Канон, КЭ, Берилл, КЭ), так и контактные гербициды (Барон, ВР), к которым чувствительны растения мари белой и щирицы запрокинутой, способные бороться с сорняками при перепадах температур и выпадении обильных осадков (Берилл, КЭ), при этом однократной обработки в фазе трех настоящих листьев сои оказалось недостаточно для уничтожения этих видов сорняков.

В период вегетации идет постоянная конкуренция между растениями сои и сорняками, а также между различными группами и видами сорняков, некоторые из которых вырабатывают толерантность к постоянно применяем гербицидам. В среднем все варианты смесей гербицидов уничтожали в посевах сои дурнишник сибирский (*Xanthium sibiricum* L.) и снижали численность мари белой (*Chenopodium album* L.), пикульника двураздельного (*Galeópsis bífida* L.), щетинника сизого (*Setaria viridis* L.), коммелины обыкновенной (*Commelina communis* L.) и хвоща полевого (*Equisétum arvénse* L.). Использование в посевах сои различных баковых смесей гербицидов способствовало уменьшению массы сорняков в 2...5 раз, особенно эффективны были следующие варианты: после посева Гонор, КС 2 л/га + Сапфир, ВРК 0,5 л/га и по вегетации – Барон, ВР 2 л/га + Берилл, КЭ 0,5 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га (масса сорняков 41,1 % к массе сои), а также Барон, ВР 2,5 л/га + Берилл, КЭ 1,2 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га (масса сорняков 44,3 % к массе сои).

По визуальной оценке засоренность посевов сои в среднем за время исследований в вариантах 2 и 3 соответствовала 2 баллам, в контрольном и 6-ом вариантах – 4 балла, в остальных вариантах с применением баковых смесей – 3 балла. По результатам количественной оценки перед уборкой сои сорта Лазурная в большинстве вариантов отмечали среднюю и сильную степень засоренности, в контроле и при использовании препаратов Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ – очень сильную.

Наибольшую биомассу сорняков (2496 г/м^2) наблюдали в контроле (без обработки), в варианте 3 она снижалась на 286 г/м^2, в варианте 5 – на 1114 г/м^2, в варианте 6 – на 1430 г/м^2, в варианте 2 – на 1709 г/м^2. Лучшие результаты обеспечило применение смеси Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ, после использования которой величина этого показателя уменьшилась на 1852 г/м^2. Наибольшую биомассу сорняков в верхнем ярусе отмечали в контроле и при обработке вегетирующих растений смесью Барон, ВР + Канон, КЭ + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ, в среднем и нижнем ярусах – при использовании препаратов Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Канон, КЭ + Сапфир, ВРК + Лип, ВДГ (табл. 3). Средние величины по сравниваемым группам сильно различались, изучаемый фактор оказывал существенное влияние на сырую массу сорняков.

Наибольшая урожайность семян сои отмечена при использовании препаратов Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ – 2,78 т/га. Величина этого показателя в контроле была меньше на 1,6 т/га, или 135,6 %, а в варианте с гербицидами Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ – на 0,71 т/га, или 60,2 %. Максимальный в опыте урожай соломы так же был собран в варианте 2 – 3,76 т/га, в контроле он был на 1,87 т/га, или 98,9 % ниже, а в остальных вариантах с обработкой гербицидами изменялся в пределах 2,1...2,3 т/га. В

3. Сырая масса сорняков и растений сои после применения исследуемых гербицидов*

Вариант	Растения сои, г/м^2	Сорняки (по ярусам), г/м^2				Масса сорняков к массе сои, %
		верхний	средний	нижний	всего	
1) Без обработки (контроль)	1188	828	1400	268	2496	210,8
2) Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ	1917	306	192	289	787	41,1
3) Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Канон, КЭ + Сапфир, ВРК + Лип, ВДГ	1944	181	309	1172	2210	113,7
4) Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ	1453	162	104	378	644	44,3
5) Барон, ВР + Канон, КЭ + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ	1274	833	129	420	1382	108,5
6) Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ	1048	604	261	201	1066	101,7

**ошибка разности средних s_d по биомассе сои – 99,6 г, по биомассе сорных растений – 80,2 г, $НСР_{05}$ массы культурных растений 222 г/м^2 (15,1 %), сорняков 178,8 г/м^2 (12,5 %).*

4. Влияние баковых смесей гербицидов на урожайность сои

Вариант	Семена		Солома	
	урожайность, т/га	прибавка, %	урожайность, т/га	прибавка, %
1. Без обработки (контроль)	1,18	–	1,89	–
2. Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ	2,78	135,6	3,76	98,9
3. Гонор, КС + Сапфир, ВРК + Барон, ВР + Канон, КЭ + Сапфир, ВРК + Лип, ВДГ	1,65	39,8	2,10	11,1
4. Барон, ВР + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ	1,95	65,3	2,30	21,7
5. Барон, ВР + Канон, КЭ + Берилл, КЭ + Лип, ВДГ	1,69	43,2	2,20	16,4
6. Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ	1,89	60,2	2,15	13,8
$НСР_{05}$	0,28		0,14	

среднем при использовании баковых смесей гербицидов урожайность семян и соломы сои была существенно выше, чем в контроле. По сравнению с вариантом Бегин, КЭ + Базагран, ВР + Зодиак, ВР + ГалактАлт, КЭ, достоверное превосходство отмечено в варианте 2, остальные сочетания смесей по эффективности были равноценны (табл. 4).

В опытах ДальНИИСХ при слабой засоренности посевов сои мятликовыми сорняками (0...250 г/м^2 зеленой массы) урожайность снижалась на 0,1 т/га, при средней (100...250 г/м^2) – на 0,19 т/га, при сильной (более 1000 г/м^2) – на 0,46 т/га. В посевах сои очень вредоносен сорняк осот полевой (*Sónchus arvénsis* L.) [2]. Уменьшение урожайности семян сои при его массе 400...2000 г/м^2 достигает 0,33...0,8 т/га, а от дурнишника сибирского (*Xanthium sibiricum* L.) при наличии 4,5 раст./м^2 – на 0,64...1,03 т/га. По мере увеличения доли сорных растений в общей биомассе агрофитоценоза сбор семян сои от мятликовых сорняков снижается на 5...30 %, а от осота полевого – на 11...73 %. Аналогичные результаты получены и в наших опытах.

Фюзилад, КЭ (150 г флуазифопа-П-бутила, химический класс арилоксиалканкарбоновые кислоты) в опытах Х. П. Пекеньо с соавторами [6] снижал засоренность просом куриным (*Echinóchloa crus-gálli* L. Beauv.) и щетинником сизым на 83...96 % и обеспечивал прибавку урожая зерна до 20,0...36,8 %. В Амурской области гербициды очень эффективны при минимализации обработки почвы под посев сои [10]. Изученные в нашем опыте смеси гербицидов обеспечили прибавку урожайности семян сои до 135,6 %.

Таким образом, все изученные гербициды уничтожали дурнишник сибирский (*Xanthium sibiricum* L.) и снижали количество мари белой (*Chenopodium album* L.), пикульника двураздельного (*Galeópsis bífida* L.), щетинника сизого (*Setaria viridis* L.), коммелины обыкновенной (*Commelina communis* L.) и хвоща полевого (*Equisétum arvénse* L.), уменьшали массу сорняков в 2...5 раз. В варианте с применением после посева сои баковой смеси гербицидов Гонор, КС 2 л/га + Сапфир, ВРК 0,5 л/га и по вегетации Барон, ВР 2 л/га + Берилл, КЭ 0,5 л/га + Лип, ВДГ 0,2 л/га сорняки сохранялись преимущественно в нижнем ярусе. Использование такой схемы защиты от сорной растительности обеспечивало наибольшую в опыте прибавку урожайности семян (на 135,6 %) и соломы (на 98,9 %) сои.

Литература.

1. Земледелие Г. И. Баздырев, В. Г. Лошаков, А. И. Пупонин и др. / под ред. А. И. Пупонина. М.: КолосС, 2002. 552 с.
2. Басистый В. П. Основы технологии сельскохозяйственного производства на российском Дальнем Востоке. Хабаровск: ХГТУ, 2000. 133 с.
3. Основы земледелия и растениеводства: учеб. пособие для высш. с.-х. учеб. Заведений / В. С. Косинский, А. М. Рубанов, В. В. Ткачев и др. / под ред. В. С. Косинского / Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 335 с.
4. Cover Crops As Sources Of Nutrients Increasing Productivity Of Soya Sown With Wide-Space Methodin The Climate Of The Amur Region, Russia / V. V. Epifantsev, A. N. Panasyuk, Ya. A. Osipov etc. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 1470–1476.
5. Асеева Т. А., Киселев Е. П. Основы агрономии и технологии возделывания сельскохозяйственных культур на российском Дальнем Востоке: учебное пособие. Хабаровск: Изд-во ПРИАБ, 2011. 318 с.
6. Пекеньо Х. П., Федорищев В. Н., Скориков В. Т. Эффективность гербицидов на сое в Подмосковье // АГРО XXI. № 12. С. 6–7.
7. Матвеев В. П., Рубцов И. И. Овощеводство. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 431 с.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. Земледелие: практикум / И. П. Васильев, А. М. Туликов, Г. И. Баздырев и др. М.: ИНФРА-М, 2013. 424 с.
10. Епифанцев В. В. Влияние минимализации обработки почвы и применения гербицидов на урожайность сои в Амурской области // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. мат. XIV Междунар. науч-практ. конф. Барнаул: Изд-во Алтайского ГАУ, 2019. С. 180–181.

Influence of Herbicides on the Weeds Species Composition and Productivity of Soybean Crops

V. V. Epifantsev, A. N. Panasyuk, I. A. Osipov, Y. A. Vaitekhovich, S. V. Andrienko
Far Eastern research Institute of mechanization and electrification of agriculture, 5 Vasilenko str., Blagoveshchensk, 675027, Russian Federation.

Abstract. *Under the conditions of the Tambov district of the Amur Region in 2016–2018, the effect of various tank mixtures of herbicides on the species composition of weeds and the yield of soybean crops was studied. The thickness of the arable layer was up to 25 cm. The content of humus in the arable horizon was 2.5–3.4%, of mobile phosphorus – 50–100 mg/kg, exchange potassium – 120–250 mg/kg. We tested five formulations of herbicide mixtures in comparison with the untreated background. The design of the experiment included the following options. The first option included Gonor SC, 2 L/ha + Sapphire WSC, 0.5 L/ha after sowing; Baron AS, 2 L/ha + Berill, EC, 0.5 L/ha + Lip WSG, 0.2 L/ha during vegetation. The second option included Gonor SC, 2.5 L/ha + Sapphire WSC, 0.5 L/ha after sowing; Baron AS, 2.2 L/ha + Kanon, EC, 1.0 L/ha + Sapphire WSC, 0.2 L/ha + Lip WSG, 0.2 L/ha during vegetation. The third option included Baron AS, 2.5 L/ha + Berill, EC, 1.2 L/ha + Lip WSG, 0.2 L/ha during vegetation. The fourth option included Baron AS, 2.5 L/ha + Kanon, EC, 0.35 L/ha + Berill EC, 0.65 L/ha + Lip WSG, 0.1 L/ha during vegetation. The fifth option included Begin EC, 1.6 L/ha after sowing; Bazagran AS, 2.0 L/ha + Zodiak AS, 0.8 L/ha + GalaktAlt EC, 0.2 L/ha during vegetation. The control was without treatment. All the studied herbicides wiped out the Siberian burdock (Xanthium sibiricum L.) in soybean crops and reduce the amount of wild spin (Chenopodium album L.), common hemp-nettle (Galeopsis bifida L.), yellow-foxtail grass (Setaria viridis L.), Asiatic dayflower (Commelina communis L.) and meadow pine (Equisetum arvense L.). They reduce the weight of weeds 2–5 times. After processing the soybean crop with a tank mixture of herbicides Gonor SC, 2 L/ha + Sapphire WSC, 0.5 L/ha after sowing; Baron AS, 2 L/ha + Berill, EC, 0.5 L/ha + Lip WSG, 0.2 L/ha during vegetation, weeds remain only in the lower tier, seed yield increased by 135.6 %, and straw – by 98.9 % compared to untreated plots.*

Keywords: *herbicide; mixtures; species; weed plant; soybean; yield.*

Author Details: *V. V. Epifantsev, D. Sc. (Agr.), leading research fellow (e-mail: viktor.iepifantsiev.59@mail.ru); A. N. Panasyuk, D. Sc. (Tech.), director; I. A. Osipov, Cand. Sc. (Tech.), senior research fellow; Y. A. Vaitekhovich, junior research fellow; S. V. Andrienko, agronomist.*

For citation: *Epifantsev VV, Panasyuk AN, Osipov IA, et al. [Influence of herbicides on the weeds species composition and productivity of soybean crops]. Zemledelije. 2020;(1):22-6. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10106.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10107
УДК 631.582

Продуктивность чернозема типичного в зависимости от факторов земледелия в юго-западной части ЦЧЗ

В. Д. СОЛОВИЧЕНКО,
доктор сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией (e-mail: laboratoria.plodorodya@yandex.ru)
Е. В. НАВОЛЬНЕВА, научный сотрудник
И. В. ЛОГВИНОВ, агроном
Белгородский федеральный аграрный научный центр РАН,
ул. Октябрьская, 58, Белгород, 308001, Российская Федерация

Исследования проводили в четырех ротациях севооборотов (1993–2016 гг.) в стационарном опыте в условиях Белгородской области с целью выявления изменений продуктивности различных севооборотов (зернотравянопропашной, зернопропашной и зернопаропропашной с различной долей пропашных культур в структуре) в зависимости от основных факторов земледелия (основная обработка почвы, внесение минеральных и органических удобрений). Почва опытного участка – чернозём типичный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке. Использовали три способа обработки почвы: вспашку, безотвальную и минимальную. В качестве органического удобрения применяли подстилочный навоз КРС, который вносили под сахарную свёклу в одинарной (40 т/га) и двойной (80 т/га) дозах (соответственно 8 и 16 т/га севооборотной площади). Одинарная доза минеральных удобрений в зернотравянопропашном севообороте составляла $N_{42}P_{62}K_{62}$ д.в./га севооборотной площади, в зернопропашном – $N_{62}P_{62}K_{62}$ и в зернопаропропашном $N_{54}P_{62}K_{62}$. В среднем по вариантам продуктивность зернопаропропашного севооборота была равна 6,20 тыс. зерн. ед./га, что на 0,39 и 0,95 тыс./га выше, чем в зернопропашном и зернотравянопропашном. Максимальная продуктивность в опыте была зафиксирована в варианте с двойными дозами минеральных и органических удобрений по вспашке – 7,87 т/га. Глубокие обработки обеспечивали достоверное преимущество во всех севооборотах и на всех фонах удобренности, по сравнению с минимальной. Различия между ними колебались в зависимости от севооборота в пределах 0,10...0,26 тыс. зерн. ед./га. Органические удобрения обеспечивали рост продуктивности севооборотов на 19,2...34,3 %, минеральные – на 37,5...62,6 %, совместное их применение – на 52,6...91,2 %. Долевое участие в формировании продуктивности севооборотов минеральных удобрений составляло 66,5 %, органических – 19,24 %, способов основной обработки почвы – 0,79 %.

Ключевые слова: *продуктивность, чернозем типичный, факторы, взаимодействие, севооборот, чистый пар, основная обработка почвы, удобрения, критерий Фишера.*

Для цитирования: *Соловиченко В. Д., Навольнева Е. В., Логвинов И. В. Продуктивность чернозема типичного в зависимости от факторов земледелия в юго-западной части ЦЧЗ // Земледелие. 2020. № 1. С. 27–29. doi:10.24411/0044-3913-2020-10107.*

В условиях рыночной экономики тема ресурсосбережения в земледелии достигла экстремума. Удешевление технологий, прежде всего, предлагают проводить, путем минимизации механической обработки почвы, на долю которой приходится 35...40 % энергии, затрачиваемой в полевом цикле.

Анализ литературы по этому вопросу не позволяет сделать однозначных выводов. Результаты многих исследований свидетельствуют о снижении продуктивности пашни при переходе к минимальным или нулевым обработкам, прежде всего, из-за увеличения засоренности и ухудшения фитосанитарной ситуации агроценоза [1, 2, 3]. Кроме того, следует отметить ухудшение распределения удобрений по глубине. В микрополевых опытах доказано, что при вспашке 15 % туков находятся в слое 0...10 см, 38 % – в 10...20 см, 47 % – в 20...30 см; при бесплужной – 55, 31, 14 % соответственно [4]. В то же время, даже у зерновых с их мочковатой корневой системой по вспашке 38 % корневой системы находится в слое 0...10 см, 17 % – глубже 30 см, а при поверхностной обработке – 49 и 10 % соответственно [5]. Разумеется, у пропашных культур со стержневой системой корневой габитус по профилю почвы будет смещен на большие глубины.

Севооборот – важное средство восстановления и повышения плодородия почвы, способствующее регулированию процессов накопления и разложения органического вещества, новообразования и минерализации гумуса, оптимизации уровня водного, воздушного и пищевого режимов почвы, улучшения фитосанитарного состояния посевов [6].

Сегодня необходимо критическое переосмысление роли специализированных севооборотов, в том числе в части долевого участия пропашных и культур сплошного сева в структуре посевных площадей, а также концентрации многолетних трав и наличия чистых паров. В условиях неустойчивого земледелия доля чистых паров в структуре полевых севооборотов может достигать 10...20 % [7]. Такое поле выбывает из хозяйственного оборота и конкретно в этот год продукцию с него не получают. Но если учитывать продуктивность севооборота в целом, то по данным некоторых исследователей, зернопаропропашной севооборот во второй ротации по продуктивности превышал зернопропашной на 0,6...0,8 тыс./га зерновых единиц.

Чистый пар способствует интенсивной минерализации органического вещества почвы, повышая продуктивность пашни, но при этом снижает потенциальное плодородие почвы из-за уменьшения количества органического вещества и ухудшения его качественного состава [8].

В то же время разумное использование многолетних бобовых трав в почвозащитной ландшафтной системе земледелия положительно сказывается на плодородии почв [9, 10]. С увеличением распространения эрозии должна возрастать доля многолетних трав в структуре посевных площадей.

В связи с тем, что многолетние травы хорошо обогащают почву растительными остатками, оптимизация их площади в структуре пашни – непременное условие простого и расширенного воспроизводства плодородия черноземов [11]. Однако учитывая, что травопольные севообороты менее продуктивны, чем интенсивные пропашные, доля многолетних трав в пашне должна быть увязана в формате «продуктивность–плодородие». Принято считать, что доля бобовых (однолетних и многолетних) не должна превышать 30 % от посевной площади [12].

Цель исследований – выявить изменения продуктивности различных севооборотов (зернотравянопропашной, зернопропашной и зернопаропропашной) в зависимости от основных факторов земледелия (основная обработка почвы, внесение минеральных и органических удобрений).

Работу проводили в течение четырех ротаций (1993–2016 гг.)

1. Чередование культур в севооборотах

Зернотравянопропашной	Зернопропашной	Зернопаропропашной
Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница
Сахарная свёкла	Сахарная свёкла	Сахарная свёкла
Ячмень + многолетние травы	Ячмень	Кукуруза на силос
Многолетние травы 1 г.п.	Кукуруза на силос	Кукуруза на зерно
Многолетние травы 2 г.п.	Горох	Чёрный пар

стационарного опыта Белгородского ФАНЦ (заложен в 1987 г.). Почва опытного участка – чернозём типичный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лёссовидном суглинке с содержанием в пахотном слое гумуса (по Тюрину) 5,18...5,32 %, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 52...58 и 95...105 мг/кг почвы соответственно, $pH_{сол}$ – 5,8...6,4.

Насыщенность пропашными культурами зернотравянопропашного севооборота составляла 20 %, зернопропашного – 40 %, зернопаропропашного – 80 % (табл. 1).

В опыте изучали три способа основной обработки почвы – вспашку, безотвальную и минимальную; три системы удобрения – органическую, минеральную и органо-минеральную с тремя уровнями удобренности (без удобрений, одну и две дозы удобрений и их комбинаций).

Вспашку и безотвальную обработку (плугом типа «Параплау») в зависимости от возделываемой культуры проводили на глубину 22...32 см. При минимальной обработке рыхление осуществляли дисками на глубину 10...12 см.

Из органических удобрений вносили навоз один раз за ротацию севооборотов под сахарную свёклу в одинарной (40 т/га) и двойной (80 т/га) дозах (8 и 16 т/га севооборотной площади соответственно). Минеральные удобрения применяли ежегодно под каждую культуру. Одинарная доза (50...90 кг д.в./га) рассчитана на простое воспроизводство почвенного плодородия, двойная (100...180 кг д.в./га) – на расширенное. На 1 га севооборотной площади единичная доза минеральных удобрений в зернотравянопропашном севообороте составляла $N_{42}P_{62}K_{62}$, в зернопропашном – $N_{62}P_{62}K_{62}$, в зернопаропропашном – $N_{54}P_{62}K_{62}$.

По данным метеорологического поста «Белгородского ФАНЦ РАН», расположенного на территории стационарного опыта, сумма положительных температур выше 10 ^{0}С в условиях его проведения составляет 2510...2620^0. Годовая сумма осадков 490...540 мм, в том числе за период с температурой выше 10^0 – 260...290 мм. Запасы продуктивной влаги в слое 0...100 см к началу вегетационного периода находятся на уровне 150...170 мм. Среднемноголетний гидротермический коэффициент равен 1,1.

Климатические условия в период вегетации в годы проведения исследований значительно различались от среднемноголетних, величина колебаний по отдельным годам достигала 60...70 %. Наиболее засушливые условия отмечены в 1994, 1995, 1996, 1998, 2001, 2005, 2008, 2009, 2010, 2013 гг., наиболее влагообеспеченными были 1993, 1997, 2004 гг. Резким недостатком влаги в начальный период весенней вегетации отличались 1993, 1995, 1998, 2001, 2003, 2007, 2009, 2010, 2012 гг. Гидротермический коэффициент за годы проведения полевых опытов изменялся от 0,44 (в 2010 г.) до 1,6 (в 2004 г.).

Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову с использованием программы NIRSMAIN.

За двадцатилетний период подтверждена доминирующая роль глубокой обработки почвы по всем севооборотам. Причем ее положительное влияние на продуктивность пашни усиливается при переходе от зернотравянопропашного севооборота к зернопаропропашному.

В среднем за четыре ротации на фоне естественного плодородия почвы продуктивность зернопаропропашного севооборота была выше, чем в зернопропашном на 0,41 тыс. зерн. ед./га, по сравнению с зернотравянопропашным – на 0,72 тыс. зерн. ед./га (табл. 2), при

2.Влияние способов обработки почв и удобрений на продуктивность севооборотов в среднем за четыре ротации (1993–2016 гг.), тыс. зерн. ед./га

Навоз, т/га	Минеральные удобрения, доза	Зернотравянопропашной севооборот				Зернопропашной севооборот				Зернопаропропашной севооборот			
		В*	Б	М	среднее	В	Б	М	среднее	В	Б	М	среднее
0	0	3,64	3,57	3,39	3,54	3,97	3,85	3,74	3,85	4,35	4,34	4,08	4,26
0	1	5,04	4,97	4,83	4,95	5,61	5,46	5,37	5,48	6,00	5,92	5,67	5,86
0	2	5,76	5,69	5,56	5,67	6,40	6,29	6,10	6,26	6,70	6,60	6,51	6,60
8	0	4,28	4,24	4,13	4,22	4,74	4,73	4,58	4,68	5,16	5,09	5,03	5,09
8	1	5,55	5,43	5,36	5,44	6,21	6,09	5,95	6,08	6,62	6,51	6,38	6,50
8	2	6,15	6,32	5,94	6,13	6,81	6,84	6,59	6,74	7,25	7,06	7,01	7,10
16	0	4,74	4,62	4,63	4,66	5,27	5,17	5,08	5,17	5,69	5,68	5,48	5,62
16	1	6,05	6,00	5,88	5,98	6,84	6,73	6,47	6,68	7,29	7,16	6,94	7,13
16	2	6,83	6,69	6,59	6,70	7,53	7,41	7,14	7,36	7,87	7,62	7,59	7,69
Среднее		5,34	5,25	5,15	5,25	5,93	5,84	5,67	5,81	6,32	6,22	6,07	6,20
$НСР_{05}$: севообороты – 0,32; обработка почвы – 0,09; навоз – 0,11; минеральные удобрения – 0,76													

** В – вспашка, Б – безотвальная обработка, М – минимальная обработка;*

3. Показатели верификации и долевого участия факторов в формировании продуктивности севооборотов в среднем за четыре ротации (1993–2016 гг.)

Фактор	Критерий Фишера		R	Долевое участие, %
	$F_ф$	F_{05}		
A[1]	27,56	5,14	0,89*	12,84
B	15,75	3,55	–0,43*	0,79
C	215,00	3,17	0,92*	19,24
D	2829,87	3,05	0,97*	66,50
AB	0,16	2,93	–	0,01
AC	0,47	2,54	–	0,09
AD	3,06	2,43	–	0,14
BC	0,07	2,54	–	0,01
BD	0,43	2,43	–	0,01
CD	4,87	2,43	–	0,23
ABC	0,08	2,12	–	0,03
ABD	0,47	2,00	–	0,04
ACD	0,22	2,00	–	0,02
BCD	0,34	2,00	–	0,03
ABCD	0,11	1,71	–	0,02

[1]А – севооборот, В – обработка почвы, С – навоз, D – минеральные удобрения
** достоверны при p = 0,01*

4. Взаимодействие факторов при их различной градации

Факторы	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
A1	5,34	5,28	5,15	4,72	5,26	5,78	4,14	5,46	6,17
A2	5,93	5,84	5,67	5,20	5,84	6,40	4,57	6,08	6,79
A3	6,32	6,22	6,07	5,57	6,23	6,81	4,99	6,50	7,13
B1				5,27	5,86	645	4,65	6,13	681
B2				5,19	5,81	6,34	4,59	6,03	6,72
B3				5,03	5,66	6,20	4,46	5,87	6,56
C1							3,88	5,43	618
C2							4,66	6,01	6,66
C3							5,15	6,59	7,25

A – севооборот, B – основная обработка почвы, C – навоз, D – минеральные удобрения

этом наибольшие величины этого показателя отмечали по вспашке. При внесении органических удобрений продуктивность возрастает на 0,64...1,10 тыс. зерн. ед./га. Наибольшей она была в зернопаропропашном севообороте по вспашке на фоне двойных доз минеральных и органических удобрений – 7,87 тыс. зерн. ед./га.

Показатели верификации (табл. 3) свидетельствуют о достоверном влиянии вида севооборота (критерий Фишера – 27,56), способа основной обработки почвы (5,75) и внесения удобрений (2829,87) на продуктивность культур в севооборотном комплексе на 95 %-ном уровне вероятности. Среди парного сочетания факторов достоверным оказалось совместное влияние навоза и минеральных удобрений ($F_ф$ – 4,87). Максимальное в опыте долевое участие в формировании продуктивности севооборотов принадлежало минеральным удобрениям – 66,50 %, значительно меньше органическим – 19,24 %, на долю севооборотов приходилось 12,84 %, способов обработки почвы – 0,79 %.

Анализируя взаимодействие факторов при их различной градации, можно отметить, что в среднем по блокам продуктивность пашни снижается во всех севооборотах от вспашки к минимальной обработке; органические удобрения увеличивают ее во всех севооборотах и по всем обработкам почвы по мере повышения доз, минеральные – во всех севооборотах, по всем обработкам почвы, на фоне всех доз навоза (табл. 4). За двадцатилетний период исследований установлено, что продуктивность зернотравянопропашного севооборота была меньше, чем у остальных, в среднем по вариантам на 10,7...18,1 % благодаря большему насыщению пропашными культурами. Среди способов обработки почвы преимущество было за отвальной вспашкой. Применение одинарных доз минеральных удобрений увеличивало продуктивность севооборотов на 37,56...42,3 %, двойных – на 54,9...62,6 %, а органических – на 19,5...21,5 и 31,6...34,3 % соответственно. Наибольший рост продуктивности севооборотов обеспечивало совместное внесение двойных доз органических и минеральных удобрений – 80,5...91,2 %.

Литература.

1. Михайлов В. В., Богомазов К. В. Обработка почвы в Пензенской области // Земледелие. 2005. № 4. С. 12–13.
2. Саленков С. Н. Современные энергосберегающие технологии // Земледелие. 2001. № 5. С. 8–9.
3. Бойко П. И., Коваленко Н. П. Усовершенствование севооборотов на Украине // Земледелие. 2005. № 2. С. 7.
4. Кульбиба В. В., Бородань В. А. Альтернативное земледелие: его возможности и перспективы // Земледелие. 1994. № 5. С. 16–18.
5. Листопадов И. Н. Минимизация, а не упрощение // Земледелие. 2007. № 1. С. 25–27.
6. Данилец Е. А. Влияние звеньев полевого севооборота на агрофизические свойства почвы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 4 (51). С. 24–28.
7. Корчагин В. А. Чистый пар – основа севооборота // Земледелие. 1989. № 3. С. 9–12.
8. Соловиченко В. Д. Почвенный покров Центрально-Черноземного региона и воспроизводство плодородия почв: автореф. дисс. докт. с.-х. наук. Курск, 2013. 42 с.
9. Дедов А. В., Новикова Л. А., Несмеянова М. А. Пути регулирования плодородия чернозема типичного в условиях юго-востока ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 3 (62). С. 71–77.
10. Хисматуллин М. М. Бобовые и бобово-злаковые многолетние травы – составная часть органического земледелия Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2 (53). С. 64–67.
11. Тютюнов С. И. Совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья России: автореф. дисс. докт. с.-х. наук. Курск, 2005. 42 с.
12. Щербаков А. П., Васенев И. И. Экологические проблемы плодородия почв Центрально-Черноземной области // Почвоведение. 1994. № 4. С. 88–96.

Efficiency of typical chernozem depending on farming factors in the southwest of the Central Chernozem zone

V. D. Solovichenko, E. V. Navolneva, I. V. Logvinov
Belgorod Agricultural Research Institute, ul. Oktyabr'skaya, 58, Belgorod, 308001, Russian Federation

Abstract. *The studies were carried out in four cycles of crop rotations (1993–2016) in a stationary experiment under conditions of the Belgorod region. The study aimed to detect changes in the productivity of various crop rotations (grain-grass-row, grain-row, and grain-fallow-row crop rotations with different proportions of row crops in the structure) depending on the main factors of farming (tillage, application of mineral and organic fertilizers). The soil of the experimental plot was typical medium-thick, heavy loamy chernozem on loessy loam, with low humus content. Three methods of tillage were used: ploughing, nonmoldboard cultivation and minimal tillage. Litter of cattle was used as organic fertilizer, which was applied for sugar beets in single (40 t/ha) and double (80 t/ha) doses (8 and 16 tons per hectare of crop rotation area, respectively). The single dose of mineral fertilizers in the grain-grass-row crop rotation was N42P62K62, in the grain-row crop rotation – N62P62K62, and in the grain-fallow-row crop rotation – N54P62K62. On average over the variants, the productivity of the grain-fallow-row crop rotation was equal to 6,200 cereal units (CU) per hectare, which was higher by 390 and 950 CU/ha than in grain-row and grain-grass-row crop rotations. The maximum productivity in the experiment was in the variant with double doses of mineral and organic fertilizers with ploughing – 7.87 t/ha. Deep cultivation provided a significant advantage in all crop rotations and against all fertilizer backgrounds, compared to the minimal tillage. The differences between them fluctuated depending on crop rotation in the range of 100–260 CU/ha. Organic fertilizers increased crop rotation productivity by 19.2–34.3%, mineral fertilizers – by 37.5–62.6%, their combined use – by 52.6–91.2%. The share of mineral fertilizers in the formation of the productivity of crop rotations was 66.5%, of organic fertilizers – 19.24%, the main tillage methods – 0.79%.*

Keywords: *bare fallow; crop rotation; efficiency; factors; fertilizer; Fischer's criterion; interaction; tillage; typical chernozem.*

Author Details: *V. D. Solovichenko, D. Sc. (Agr.), head of laboratory (e-mail: laboratoria.plodorodya@yandex.ru); E. V. Navolneva, research fellow; I. V. Logvinov, agronomist.*

For citation: *Solovichenko VD, Navolneva EV, Logvinov IV. [Efficiency of typical chernozem depending on farming factors in the southwest of the Central Chernozem zone]. Zemledelije. 2020;(1):27-9. Russian. doi:10.24411/0044-3913-2020-10107.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10108
УДК 631/635

Методологические основы оптимизации ресурсов в производстве продукции земледелия

И. И. ГУРЕЕВ, доктор технических наук, зав. лабораторией (e-mail: gureev06@mail.ru)
Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70 б, Курск, 305021, Российская Федерация

Цель исследований – совершенствование методологии оптимизации расходования производственных ресурсов (факторов) в земледелии на основе математического моделирования и цифровизации. Достижение цели контролируется по параметрам оптимизации, зависимым от факторов. Многокритериальная задача сводится к однокритериальной путем выделения главного параметра оптимизации, обращая его в максимум (минимум). На все остальные параметры накладываются ограничения. Стационарные значения функции главного параметра оптимизации определются после её формализации совместно с дополнительными условиями в виде уравнений связи с использованием метода неопределённых множителей Лагранжа. Для демонстрации практической целесообразности и универсальности метода рассмотрены конкретные разноплановые примеры. В модельном примере агротехнологической направленности стационарные значения функции урожайности озимой пшеницы определены с ограничениями по функции содержания белка в зерне в зависимости от факторов азотных, фосфорных и калийных удобрений. Таким образом учитывали, что урожайность и качественные показатели зерна определяют не только количественные значения каждого из факторов, но и их взаимосвязи. В примере технической направленности оптимизированы конструктивные параметры роторного щелевателя почвы, оснащённого активно-пассивными рабочими органами. Верхнюю часть щели формирует узкая фреза, нижнюю – пассивный щелерез. В качестве параметра оптимизации приняли функцию удельной энергоёмкости нарезания 1 погонного метра щели. Уравнение связи ориентировано на сумму мощностей привода фрезы и протаскивания щелереза, ограниченных мощностью двигателя трактора Т-150К. Формализация процесса щелевания проведена путём синтеза теоретических решений и эксперимента. Расчёты выполнены для стерневого фона после уборки озимой пшеницы. В слое 0…30 см влажность почвы составляла 21,3 %, твёрдость 2,4 МПа. Результаты исследования позволили оптимизировать параметры машины и провести углубленный анализ взаимосвязи оптимизированных параметров с общей глубиной щели. Установлено опережающее нарастание энергозатрат на протаскивание щелереза, в сравнении с энергозатратами на привод фрезы.

Ключевые слова: *методологические основы, земледелие, затраты, оптимизация ресурсов, математическое моделирование, метод Лагранжа.*

Для цитирования: *Гуреев И. И. Методологические основы оптимизации ресурсов в производстве продукции земледелия // Земледелие. 2020. №1. С. 30–32. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10108.*

В современных условиях производство сельскохозяйственной продукции сопряжено с высокими затратами, для сокращения которых необходима оптимизация технологических процессов путём минимизации расходования сопровождающих их ресурсов [1].

Эта достаточно сложная задача, решение которой возможно с использованием современных методов оптимизации на основе математического моделирования. Помимо повышенной точности оптимизации, моделирование позволяет выявить синергию факторов в различных технологических процессах [2].

Цель исследований – совершенствование методики оптимизации расходования производственных ресурсов в земледелии на основе математического моделирования и цифровизации.

Построение оптимизационной математической модели (физической, эмпирической) начинается, прежде всего, с формулировки параметров оптимизации – критериев, по которым оценивают эффективность. Их содержание определяют решаемые исследовательские задачи. Приоритетные для земледелия параметры оптимизации – агротехнологические (урожайность и качество продукции), технические (соответствие средств механизации агротребованиям на выполняемые приёмы, производительность, надёжность и долговечность), экономические (прибыль, себестоимость, рентабельность).

На практике редко встречаются задачи, где единственный критерий оценки однозначно диктует целевая направленность. Исследовательский процесс в сельском хозяйстве характеризуется, как правило, несколькими параметрами оптимизации, раскрывающими разные, часто противоположные стороны [3]. Например, интенсификация производственных процессов, наряду с повышением урожайности сельскохозяйственных культур, одновременно сопряжена с необходимостью минимизации общих затрат. Но постановка задачи достижения максимального эффекта при минимальных затратах в научном плане нереальна. Поэтому многокритериальную задачу сводят к однокритериальной выделением главного параметра оптимизации, обращая его в максимум (минимум). На все остальные параметры накладывают ограничения, требуя, чтобы они были не меньше (не больше) заданных значений. В приведенном случае формулировка параметра оптимизации может содержать максимизацию урожайности при ограничении до определённого уровня затрат. Методика решения подобных задач хорошо формализована в области линейных взаимосвязей параметров оптимизации с факторами (линейное программирование), когда ограничения, налагаемые на элементы решения, имеют вид линейных равенств или неравенств относительно не взаимосвязанных между собой факторов [4].

Иногда используют другой менее точный подход с построением функции желательности Харрингтона, характеризующей совокупность нескольких параметров оптимизации [5]. Однако при его реализации шкалу соотношений между функцией и параметрами оптимизации строят на основе субъективной оценки исследователем отдельных компонентов, то есть присутствует небезошибочный человеческий фактор.

Для повышения точности решения исследовательских задач в земледелии, на основании экспериментальных данных строят эмпирическую модель основного параметра оптимизации и по ней проводят оптимизационные действия. Остальные параметры принимают за ограничения [6].

Предположим, при определении влияния на энергоёмкость и качественные показатели отвальной вспашки факторов ширины захвата плуга и рабочей скорости агрегата, за основной параметр оптимизации принимают энергоёмкость приёма. Затем по экспериментальным данным строят эмпирическую модель её зависимости от факторов. Остальные параметры оптимизации, определяющие качество вспашки (крошение обрабатываемого пласта, степень заделки в почву пожнивных остатков и др.) принимают за ограничения. Варьируя факторы, минимизируют энергоёмкость вспашки при соблюдении ограничений по параметрам качества.

Таким образом, одна из основных задач оптимизации производственных ресурсов в земледелии связана с определением экстремальных (максимальных или минимальных) значений алгебраических функций:

$$Y = Y(X_1, X_2, \ldots X_n)$$

где Y – параметр оптимизации; $X_1, X_2, \ldots, X_n$ – переменные факторы в количестве n, воздействующие на исследуемый процесс и принимающие в некоторый момент определённые дискретные значения.

Математическое условие для определения экстремальных значений параметра оптимизации:

$dY/dX_1 = 0$;

$dY/dX_2 = 0$;

…

$dY/dX_n = 0$.

Точки *n*, найденные в результате решения такой системы уравнений, называют стационарными точками функции *Y* и служат оптимальными значениями факторов. Однако особенность земледелия состоит в том, что во многих задачах по определению стационарных точек фукции *Y* между переменными X_n существуют взаимосвязи, которые изложенная методика не учитывает.

Предположим, исследуют влияние на урожайность озимой пшеницы и качественные показатели зерна (содержание белка, клейковины и др.) элементов минерального питания. Требуется определить значения факторов, соответствующие максимальной урожайности зерна требуемого качества.

В этом случае значимое влияние на урожайность оказывает как количество вносимых элементов питания, так и соотношение между ними, то есть элементы питания взаимосвязаны. Поэтому математически точно оптимизация будет осуществлена, если определять стационарные значения функции $Y=Y(X_1, X_2, \ldots X_n)$ с учётом связи $\varphi = \varphi(X_1, X_2, \ldots X_n)=0$.

Решение таких задач упрощает использование метода неопределённых множителей Лагранжа, согласно которому необходимое условие стационарности функции *Y* находят при условии [7]:

$d\Phi/dX_1 = 0$;

$d\Phi/dX_2 = 0$;

…

$d\Phi/dX_n = 0$.

где $\Phi(X_1, X_2, \ldots X_n) = Y(X_1, X_2, \ldots X_n) + \lambda\varphi(X_1, X_2, \ldots X_n)$; λ – множитель Лагранжа (в алгебраических задачах он постоянен и не несёт информационной ценности, но определение его значительно проще, чем исключение неизвестной через уравнение связи).

При оптимизации питания озимой пшеницы количество уравнений связи должно соответствовать количеству *m* оцениваемых качественных показателей зерна культуры. Тогда:

$$\Phi(X_1, X_2, \ldots X_n) = Y(X_1, X_2, \ldots X_n) + \sum_{i=1}^{m}\lambda_i\varphi_i(X_1, X_2, \ldots X_n), \quad (2)$$

где $i=0, \ldots, m, n>m$.

Оптимизируемые факторы X_n и множители λ_i находят из *n+m* уравнений (1) и (2).

Для демонстрации практической целесообразности использования и универсальности этого метода рассмотрим конкретные разноплановые примеры.

Агротехнологическая направленность. Важнейшая задача земледельческой науки – обеспечение растений

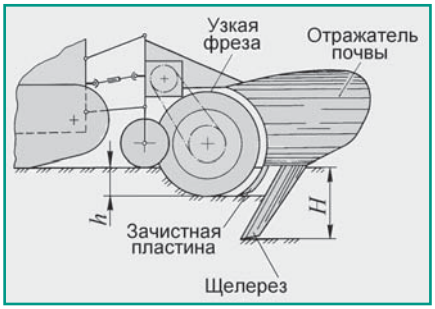


Рис. 1. *Схема роторного щелевателя.*

сельскохозяйственных культур в достаточном количестве необходимыми элементами питания, что служит залогом формирования высоких урожаев качественной продукции. Удобрение мощный рычаг управления продуктивностью культур при одновременном снижении потерь питательных веществ почвы [8]. Нормы вносимых удобрений должны соответствовать потребности растений в питательных веществах, что определяет множество факторов. Это вид культуры, метеоусловия, содержание подвижных форм элементов питания в почве и её агрофизические свойства, агротехника возделывания и многое другое.

В связи со сложностью этого вопроса, существует большое количество способов расчёта норм внесения удобрений. Но самый надёжный и достоверный для конкретных условий – проведение полевого опыта с удобрениями.

Рассмотрим модельный пример с озимой пшеницей. Предположим, что в результате полевого эксперимента установлены уравнения регрессии влияния на урожайность зерна культуры *Y* и содержание белка в нём *Б* азотных, фосфорных и калийных удобрений. За основной параметр оптимизации принимаем урожайность *Y*, а уравнение содержания белка в зерне *Б* используем в качестве связи φ:

$Y = 4{,}21-9{,}5X_1+41{,}3X_2+51{,}6X_3-14{,}8X_1X_3$, т/га;

$\varphi = Б-9{,}7+15{,}3X_1-38{,}4X_2-61{,}1X_3-72{,}8X_1X_2=0$, %;

где X_1, X_2, X_3 – факторы, соответственно, азотные, фосфорные и калийные удобрения, т/га.

Поставим задачу получения максимальной урожайности зерна озимой пшеницы 3-го класса. Согласно ГОСТ 9353-2016, массовая доля белка (*Б*) в таком зерне в пересчёте на сухое вещество должна быть не менее 12 %. Следовательно, условию (1) и (2) стационарности функции урожайности озимой пшеницы соответствует система четырёх уравнений:

$Б - 9{,}7+15{,}3X_1 - 38{,}4X_2 - 61{,}1X_3 - 72{,}8X_1X_2 = 0$;

$-9{,}5 - 14{,}8X_3 - \lambda(72{,}8X_2 - 15{,}3) = 0$;

$41{,}3-\lambda(72{,}8X_1+38{,}4)=0$;

$51{,}6-14{,}8X_1-\lambda 61{,}1=0$.

Ее решением будут следующие значения переменных: X_1=0,181 т/га; X_2=0,033 т/га; X_3=0,055 т/га; λ=0,8.

Подставив эти величины в уравнение урожайности культуры, получим *Y*=6,55 т/га. Такая урожайность зерна озимой пшеницы 3-го класса оптимальна при расходовании приведенных доз минеральных удобрений.

Техническая направленность. В адаптивно-ландшафтном земледелии широко используют агротехнику возделывания сельскохозяйственных культур на основе почвозащитных минимальных обработок почвы. Их особенность – уменьшение водопоглащающей способности почвы, рост стока талых и ливневых вод и потери продуктивной влаги. Во избежание этого на минимальные обработки приходится накладывать глубокое безотвальное рыхление или щелевание почвы. Наиболее актуально щелевание на полях с озимыми зерновыми культурами, возделываемыми по минимальным обработкам, на которых наблюдается наибольший сток талых вод.

Щелевание машинами с пассивными щелерезами сопровождается вспучиванием почвы и уничтожением культуры в зоне щели, а также по обе стороны от неё. Поэтому щели должны выполняться с ненарушенными стенками и глубиной ниже уровня промерзания почвы (для Центрально-Чернозёмного региона – 0,7…0,9 м).

Для механизации поделки щелей во ВНИИ земледелия и защиты почв

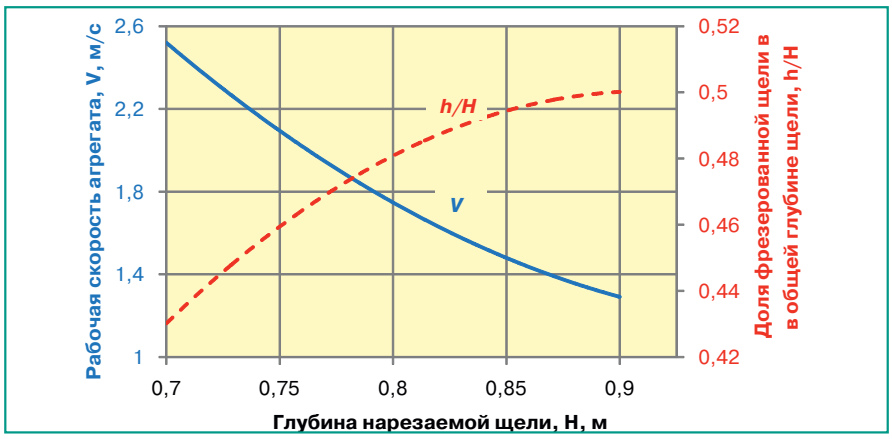


Рис. 2. *Зависимость оптимизируемых параметров щелевателя от глубины нарезаемой щели.*

от эрозии разработан роторный щелеватель (рис. 1). На его раме размещены узкая фреза с приводом от вала отбора мощности (ВОМ) трактора, зачистная пластина с отражателем почвы и щелерез. Фреза формирует часть щели на глубину *h*, отделяя мелкие почвенные стружки. Она не нарушает стенок щели и не вспучивает почву. Отбрасываемые фрезой почвенные комки равномерно распределяются отражателем по полю. Пассивный щелерез углубляет щель ниже уровня фрезерования до глубины *H*.

Нарезка глубоких щелей сопряжена с высокими затратами энергии. Поэтому с целью минимизации энергоёмкости технологического процесса поставлена задача оптимизировать рабочую скорость агрегата *V* и глубину фрезерования почвы *h* при общей глубине щели *H*.

В качестве параметра оптимизации приняли функцию, характеризующую удельную энергоёмкость нарезания 1 погонного метра щели:

$Y = Y(X_1, X_2)$;

где $X_1 = V$, $X_2 = h$.

Уравнение сваязи $\varphi(X_1, X_2)=0$ включает в себя сумму мощностей, расходуемых на привод фрезы от ВОМ трактора и на протаскивание щелереза, которая ограничена мощностью двигателя трактора. Формализацию технологического процесса щелевания в зависимости от оптимизируемых параметров проводили путём синтеза теоретических решений и эксперимента.

Расчёты выполняли для стерневого фона после уборки озимой пшеницы. В слое 0…30 см влажность почвы составляла 21,3 %, твёрдость – 2,4 МПа. Масса стерни 0,41 кг/м^2. Щелеватель агрегатировали трактором Т-150К весом 73,8 кН и мощностью двигателя 121,5 кВт. Коэффициент перекатывания движителей трактора по стерне 0,055, КПД трансмисси движителей – 0,88. Окружная скорость ножей фрезы 6,5 м/с.

Преобразования функции *Y* и уравнения связи φ выполнили по формулам (1) и (2). После исключения множителя Лагранжа стационарность функции обеспечивало решение системы уравнений:

$$\frac{1}{X_2}\left[\frac{39,4\left(H-X_2\right)^{1,16}+4,06}{0,88-0,12\left(H-X_2\right)^{1,16}}-\frac{109,4}{X_1}\right]+$$
$$+142X_2-30,9X_1+101=0;$$
$$\left(142X_2+30,9X_1\right)\left[0,88-0,12\left(H-X_2\right)^{1,16}\right]-$$
$$-45,7\left(H-X_2\right)^{0,16}-$$
$$-\frac{\left[39,4\left(H-X_2\right)^{1,16}+4,06\right]}{10^3}\times$$
$$\times\left[\frac{\left(H-X_2\right)^{0,16}}{6,18-0,86\left(H-X_2\right)^{1,16}}+\frac{1}{X_2}\right]=0.$$

При нарезании щелей глубиной *H*=0,8 м, решение такой системы уравнений будет иметь вид: X_1=1,72 м/с; X_2=0,38 м.

Результаты этих рассчетов позволили не только минимизировать энергоёмкость выполнения технологического процесса, но и провести углубленный анализ взаимосвязи оптимизированных параметров с общей глубиной щели *H* и установить ряд зависимостей (рис. 2).

С увеличением *H* от 0,7 до 0,9 м энергоёмкость формирования щели повышается, вследствие чего по вогнутой кривой понижается рабочая скорость агрегата, а по выпуклой – возрастает доля фрезерованной щели в общем заглублении рабочих органов машины (*h/H*). Это свидетельствует об опережающем нарастании энергозатрат на протаскивание щелереза, в сравнении с энергозатратами на привод фрезы.

Выводы. Предложен способ совершенствования методологических основ оптимизации расходования производственных ресурсов в земледелии с применением метода неопределённых множителей Лагранжа. Это позволяет повысить точность оптимизации в исследовательских задачах по земледелию вследствие определения оптимальных значений ресурсов совместно с дополнительными условиями в виде уравнений связи оптимизируемых параметров.

Литература.

1. Никульчев А. А. Обзор факторов затрудняющих внедрение продуктов научно-технического прогресса (на примере растениеводства) // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2017. № (30). С. 43–46.

2. Корниенко А. В., Можаев Е. Е. Особенности НТП в сельскохозяйственном производстве // European Social Science Journal. 2016. № 3. С. 76–83.

3. Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions / D. Cillis, A. Pezzuolo, F. Marinello etc. // Soil & Tillage Research. 2018. Т. 183. С. 51–59.

4. Multi-objective optimization and design of farming systems / J. C. J. Groot, G. J. M. Oomen, W. A. H. Rossing // Agricultural Systems. 2012. Т. 110. С. 63-77.

5. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. стер. М.: Наука, 1988. 208 с.

6. Смирнова Е. А., Павлов А.К. Определение параметров оптимизации многокритериальных моделей принятия решений в цепях поставок с помощью функции желательности Харрингтона // Развитие науки и научно-образовательного трансфера логистики / Под научной ред. д-ра экон. наук, проф. В. В. Щербакова. СПб. 2019. С. 46–52.

7. Лихацевич А.П. Анализ результатов агрономических опытов с использованием обощённой математической модели // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2017. № 2. С. 68–81.

8. Ганичев А.В., Ганичева А.В. Математическое программирование. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. 88 с.

9. Cook R. L., Trlica A. Tillage and fertilizer effects on crop yield and soil properties over 45 years in southern Illinois // Agronomy Journal. 2016. Т. 108. № 1. С. 415–426.

Methodological bases of resource optimization in agricultural production

I. I. Gureev
Kursk Federal Agrarian Scientific Center, ul. Karla Marksa, 70 b, Kursk, 305021, Russian Federation

Abstract. *The research aimed at optimizing the expenditure of production resources (factors) in farming based on mathematical modelling. The achievement of the goal is monitored by optimization parameters, dependent on factors. The multicriteria problem is reduced to a single-criterion one by the allocation of the main optimization parameter, turning it to a maximum (minimum). All other parameters are limited. It is proposed to determine the stationary values of the function of the main optimization parameter after its formalization together with additional conditions in the form of coupling equations using the method of uncertain Lagrange multipliers. In the model example of an agrotechnological orientation, stationary values of the winter wheat yield function are determined with restrictions on the function of protein content in grain, depending on factors of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. Thus, it is taken into account that the yield and quality indicators of grain are determined not only by the quantitative values of each of the factors but also by their relationships. In a technical example, the design parameters of a rotary soil paraplough equipped with active-passive working bodies have been optimized. The upper part of a slit is formed by a narrow mill, and the lower part is formed by a passive paraplough. As a parameter of optimization, we took the function of the specific energy consumption for cutting 1 running meter of the slit. The coupling equation is focused on the sum of the drive power of the mill and the pulling of the paraplough, limited by the engine power of T-150K tractor. The formalization of the praploughing is carried out by a synthesis of theoretical solutions and the experimental results. The calculations were performed for the stubble background after harvesting winter wheat. In the 0–30 cm layer, soil moisture was 21.3%, the hardness was 2.4 MPa. The data obtained made it possible to optimize the machine parameters and perform an in-depth analysis of the relationship between the optimized parameters and the total slit depth. The anticipated increase in energy consumption for pulling the paraplough has been established in comparison with the energy consumption for driving the mill.*

Keywords: *methodological foundations; farming; costs; resource optimization; mathematical modelling; Lagrange method.*

Author details: *I. I. Gureev, D. Sc. (Tech.), head of laboratory (e-mail: gureev06@mail.ru).*

For citation: *Gureev II. [Methodological bases of resource optimization in agricultural production]. Zemledelie. 2020;(1):30-2. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10108.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10109
УДК 631.58:551:5

Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии

В. П. ЯКУШЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, зав. отделом (e-mail: vyakushev@agrophys.ru)
В. В. ЯКУШЕВ, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, зав. лабораторией (e-mail: mail@agrophys.com)
Д. А. МАТВЕЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: dmatveenko@inbox.ru)
Агрофизический научно-исследовательский институт,
Гражданский просп., 14,
Санкт-Петербург, 195220,
Российская Федерация

Актуальность применения цифровых технологий точного земледелия (ТЗ) в производстве растениеводческой продукции в последние годы все более возрастает. Однако даже в развитых странах процесс их внедрения сдерживается из-за отсутствия на рынке интеллектуальных систем (ИС) поддержки, выработки и реализации агротехнологических решений на основе разнородных данных и проблемно-ориентированных знаний. Цель работы – обобщить опыт Агрофизического научно-исследовательского института (АФИ) в области применения ЭВМ в земледелии, представить современную структуру, принципы построения и схему системной организации сбора агротехнологических знаний и разнородных пространственно-атрибутивных данных, создать на этой основе прототип интеллектуальной системы поддержки плановых и оперативных технологических решений по прецизионному производству растениеводческой продукции. Функционал ИС обеспечивает формализацию декларативных агротехнологических и процедурных (математических моделей) знаний, осуществляет с помощью ГИС-инструментов генерацию электронных карт-заданий для дифференцированного выполнения агроприёмов на основе базы знаний и разнородных данных, включая данные дистанционного зондирования, а также поддерживает основные форматы данных, что позволяет импортировать/экспортировать пространственно-атрибутивную информацию при помощи различных протоколов обмена данными с бортовыми компьютерами сельхозагрегатов и мобильных комплексов. В результате применения ИС значительно улучшилось качество растениеводческой продукции, агрохимическая нагрузка на окружающую среду уменьшилась на 35…60 %, а окупаемость удобрений и средств защиты растений повысилась в 1,5…1,7 раза на фоне существенного роста урожайности. Апробацию ИС осуществляли на основе интеграции с отечественным бортовым навигационным оборудованием «Агронавигатор Плюс» и робототехническими агрегатами на базе машин РМУ-8000.

Ключевые слова: *точное земледелие, интеллектуальные системы, базы данных и знаний, электронные карты-задания, глобальные системы позиционирования, дистанционное зондирование Земли, аэрокосмические методы и средства, оптические характеристики посевов, информационно-измерительные системы, программно-аппаратные средства.*

Для цитирования: *Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеенко Д. А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии // Земледелие. 2020. № 1. С. 33–37. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10109.*

Доктрина продовольственной безопасности, Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», Указ президента РФ от 21 июля 2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства», Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная решением Правительства Российской Федерации от 28.07.2018 г. № 1632-р и другие официальные документы ставят следующие системные задачи для устойчивого развития агропродовольственного сектора, включая научное обеспечение земледелия:

создание новых методов, инструментов и интеллектуальных технологий, обеспечивающих мониторинг агроэкосистем и оценку состояния земель и посевов, пространственное планирование и управление сельским хозяйством;

создание физико-технического и программно-аппаратного базиса для автоматизации и роботизации ресурсосберегающего и экологизированного производства растениеводческой продукции и сырья;

создание на селе IT-кластера новых профессий – специалистов по ГИС-системам, обслуживанию бортовой электроники и навигационной аппаратуры на сельскохозяйственных агрегатах, программистов для масштабируемого внедрения интеллектуальных технологий прецизионного производства растениеводческой продукции.

Решение перечисленных задач будет способствовать цифровой трансформации сельского хозяйства в целом, расширит возможности перехода к «умному сельскому хозяйству», повысит привлекательность отрасли и обеспечит рост производительности труда [1]. Переход к реальной цифровой экономике в аграрном производстве связан в первую очередь с технологиями точного земледелия. Он предусматривает создание продуктов и сервисов, основанных на автоматизации и роботизации технологических процессов, геопозиционировании, искусственном интеллекте, «больших данных» и других информационных технологиях. Их масштабное распространение обеспечит ускоренный перевод сельского хозяйства на новый технологический уклад, в основе которого лежит дифференцированный подход к объектам управления (посевам или отдельным растениям) и среде их обитания [2, 3].

В последние годы, когда компьютер есть почти у каждого специалиста и активно развивается сеть Интернет, открывается реальная возможность воплощения в жизнь пророческого высказывания А. Ф. Иоффе. В 1955 г. на Всесоюзном совещании ученых-агрономов, зоотехников и биологов академик сказал: «Не далеко то время, когда решающую роль в управлении сложнейшей отраслью человеческой деятельности будет играть электронный агроном, способный учесть множественность сложнейших зависимостей в сельском хозяйстве и предложить единственно правильное решение по оперативному управлению сельскохозяйственным предприятием» [4]. Для реализации идеи А. Ф. Иоффе компьютер должен вобрать в себя все базовые агрономические сведения, алгоритмы выработки технологических решений применительно к конкретным почвенно-климатическим и экономическим условиям конкретного сельскохозяйственного предприятия, то есть речь идет о создании интеллектуальной системы (ИС) по управлению знаниями. Эти знания включают в себя формализованные описательные (декларативные) агротехнологические знания, основанные на многолетнем опыте земледельцев, и процедурные знания (математические модели), которые получают расчетным способом.

Цель исследований – обобщить опыт Агрофизического научно-исследовательского института (АФИ) в области применения ЭВМ в земледелии, представить современную структуру, принципы построения и схему системной организации сбора агротехнологических знаний и разнородных пространственно-атрибутивных данных и создать на этой основе прототип интеллектуальной системы поддержки плановых и оперативных технологических решений по прецизионному производству растениеводческой продукции.

Исторические предпосылки и методологические основы построения

интеллектуальных систем. Компьютерные системы поддержки принятия решений (СППР) в земледелии и растениеводстве возникли вследствие естественного развития и обобщения информационно-справочных систем и систем управления базами данных. Начавшийся в конце 60-х гг. прошлого века переход от экспериментально-описательного уровня агрономической науки к уровню выявления количественных закономерностей и теоретических обобщений создал предпосылки для зарождения качественно нового принципа управления агротехнологиями. Главная его особенность заключается в переходе от интуитивных решений, основанных только на опыте земледельца, к количественно обоснованным приемам управления технологическими процессами с применением ЭВМ для обработки информации.

Практическое использование ЭВМ при производстве растениеводческой продукции началось в 70-е гг. прошлого века при реализации методов программирования урожаев. На этом этапе ЭВМ были предназначены, в основном, для решения информационно-справочных задач путем выдачи разнообразных справок о текущей метеорологической обстановке, условиях и ходе вегетации растений на полях с программируемым урожаем в текущем году [5].

Следующий этап, начавшийся примерно с середины 80-х гг., был обусловлен стремительным развитием имитационного моделирования продуктивности агроценозов, которое, естественно, привело к совершенствованию информационных систем [6]. Модернизированная СППР включала в себя уже не только информационно-справочные данные, полученные на основе обобщения почвенно-климатических показателей, но и имитационные динамические модели продукционного процесса, значительно расширившие возможности автоматизированного комплекса. Реализованные на ЭВМ модели позволяли количественно оценить такие процессы, происходящие в системе «почва – растение – атмосфера», как радиационный режим посева, турбулентный перенос тепла, влаги и углекислого газа в посеве, динамика теплопереноса в почве, фотосинтез и дыхание, развитие и рост растений, распределение ассимилянтов по органам растения и формирование урожая [7].

Однако сравнительно большое количество времени, требующегося существовавшим в те годы ЭВМ для расчетов на основе имитационных моделей, и централизованный подход в использовании вычислительных ресурсов сделали невозможным выполнение в приемлемое время необходимых вычислений для всех обслуживаемых хозяйств, а тем более для всех сельскохозяйственных полей, имеющихся в базе данных. По этой причине компьютерная реализация СППР на основе динамических имитационных моделей не получила широкого распространения на практике. Кроме того, поскольку значительная часть агротехнологической информации априори носит описательный характер, эффективная реализация подобного рода сведений на ЭВМ требовала более совершенного математического аппарата по формализации накопленных знаний.

В конце XX в. появился понятийный аппарат, основанный на достижениях науки в области искусственного интеллекта [8]. После чего начался третий этап проектирования СППР для земледелия и растениеводства. Этот аппарат позволяет применять не только традиционные математические, но и логические, а также логико-лингвистические модели, при создании которых возможно использование терминологии естественного и агрономического языков предметного специалиста. Это значительно расширило круг задач, которые могут быть формализованы и, следовательно, в большей степени обеспечены инструментарием представления и подвергнуты последующей электронной обработке для синтезирования агротехнологий на основе описательных и процедурных знаний. Учитывая новые достижения, ученые АФИ сконцентрировали внимание на обосновании, функциональных возможностях и создании специализированной системы управления блоком комплексирования и выработкой технологических решений на основе логического сопряжения баз знаний и данных, структуры которых позволяют конструировать эффективную систему хранения и извлечения информации [9]. Тем самым было положено начало созданию экспертных систем для управления агротехнологиями.

Обычная экспертная СППР не обладает функциями автоматического формирования окончательного решения и соответствующего его сопровождения, которое обеспечивает также последующую автоматическую реализацию выработанного ЭВМ решения в поле. В то же время известно, что для реализации тех или иных агротехнических приемов по технологии точного земледелия (ТЗ) необходимо предварительно составить на стационарном компьютере карту-задание для бортового компьютера. На ее основе происходит реализация агроприема в режиме «off-line» или «on-line» [10]. Поставляемые производителями прецизионной сельскохозяйственной техники программные продукты не обладают возможностью автоматической выработки окончательного решения на основе процедурных и описательных знаний, то есть они не способны, например, выдать карту-задание с соответствующим сопровождением и обеспечить таким образом реализацию наукоемкой технологии непосредственно в поле. Поэтому процесс освоения достижений в области ТЗ существенно сдерживает отсутствие на рынке программно-аппаратных продуктов универсального типа. Следует отметить, что на сегодняшний день, несмотря на обилие представленных программных продуктов (SSToolBox, AgronetWC, Agromap, Mapinfo, Demetra, 1С и др.), не существует единой компьютерной системы, позволяющей лицу, принимающему решение, работать со всей необходимой информацией в одном программном пакете, обеспечивающем синтез информационно-технологических приемов и их реализацию в режимах «off-line» и «on-line». К тому же предлагаемое на рынке программное обеспечение в основном импортное, что создает определенные проблемы при его использовании [11].

Подобное положение дел связано, прежде всего, с тем, что в странах, занимающихся ТЗ, с самого начала основные усилия были направлены на создание специальных машин и оборудования, позволяющих дифференцированно выполнять некоторые технологические операции: точный посев, внесение удобрений, обработку средствами защиты растений и др. Фирмы, выпускающие эту технику, предоставляли также соответствующие специализированные программы, позволяющие в интерактивном режиме (при непосредственном взаимодействии с пользователем) формировать карту-задание на выполнение конкретного агроприема. При этом вопросы оптимизации, выбора и обоснования норм технологического воздействия пользователь решал самостоятельно. Такой подход привел к появлению многочисленных разноплатформенных предложений от фирм-изготовителей по оснащению программно-аппаратными средствами ТЗ, которые, в конечном счете, не обеспечивают эффективное управление производством. Причина заключается в том, что большинство производителей затрудняется с принятием решения именно из-за слишком большого количества разноплановой информации и сложности выбора оптимального варианта при интерпретации тех или иных данных.

В связи с этим в последние годы центр тяжести исследований переместился в область математического, информационного и программного наполнения систем точного земледелия с целью максимально полного использования разнородных данных для обоснования выбора и реализации тех или иных решений. В агрономии, преимущественно описательной науке с большим и разнородным объемом знаний, специалисту, занятому непосредственно в производстве, довольно

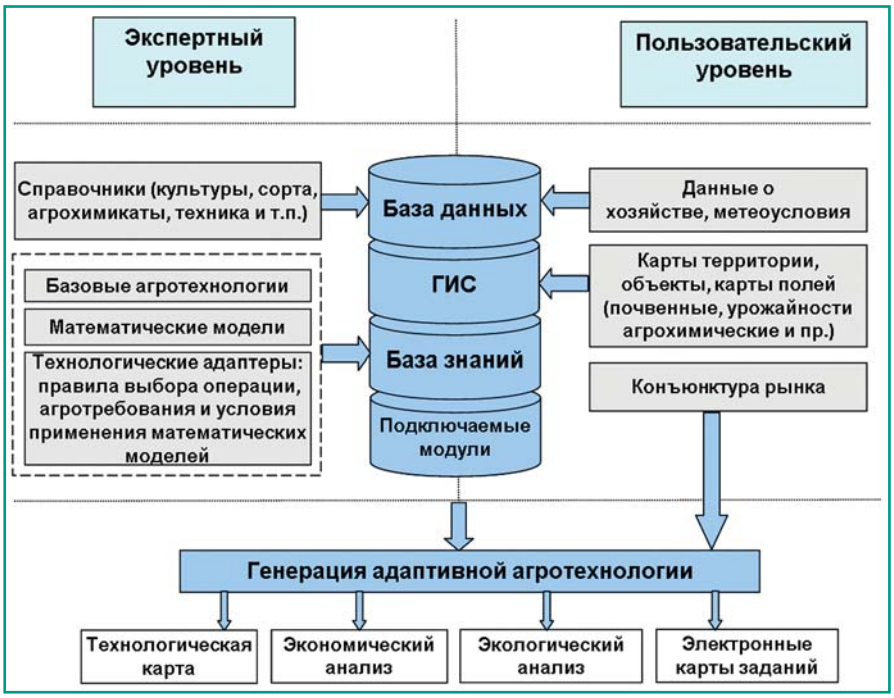


Рис. 1. *Функциональная структура интеллектуальной системы.*

трудно оценить их полностью. Создаваемая интеллектуальная система, таким образом, должна стать незаменимым помощником в планировании и принятии решений на всех уровнях управления, а также в реализации агроприемов на сельскохозяйственном поле в системе ТЗ [12].

В АФИ создана первая очередь ИС, построенной на знаниях (рис. 1). Ядро ИС – СППР нового поколения – база знаний. Для поддержки принятия решений на различных временных уровнях (в том числе при использовании технологии точного земледелия) система включает в себя, наряду с базой знаний, следующие функциональные блоки: базу данных, ГИС-инструменты, подключаемые модули, интерфейсы экспертного и пользовательских уровней, машину вывода (генерация адаптивных агротехнологий), интерфейсы приема/передачи данных с бортовыми и полевыми компьютерами [10, 11].

Центральная парадигма интеллектуальных технологий сегодня – представление, формализация и обработка знаний. Рассматриваемая система управления агротехнологиями основана на знаниях, с элементами экспертной системы, ориентированной на тиражирование опыта высококвалифицированных специалистов в областях, в которых качество принятия решений традиционно зависит от профессионального уровня экспертов. Очевидно, что для сельского хозяйства уровень экспертизы при принятии решений весьма важен, так как ошибки могут привести к значительным потерям количества или качества урожая и, как следствие, к неэффективности работ, проводимых в течение целого года. В реальных хозяйствах, несмотря на часто высокий профессиональный уровень агрономов и руководителей, экспертиза не может быть полностью объективной, поскольку человек (и даже группа людей) не может располагать информацией обо всех существующих методах, рекомендациях и практиках по тому или иному вопросу. Предлагаемая ИС должна стать мощнейшим подспорьем в экспертной оценке ситуации и принятии оптимального решения.

Она имеет два интерфейсных уровня – экспертный и пользовательский. На экспертном уровне работают специалисты в области агротехнологий – эксперты-профессионалы, создающие типовые или базовые агротехнологии, технологические адаптеры, подключающие к ИС программные модули и математические модели [13]. На этом уровне происходит заполнение нормативной базы данных (БД) справочной информацией, используемой для формирования базы знаний (БЗ), – агротехнологическими картами и адаптерами, другими словами, знаниями экспертов, формализованными в электронном виде.

Пользовательский уровень предназначен для агрономов или руководителей, – конечных потребителей тех знаний (агротехнологий, адаптеров, моделей и др.), которые были формализованы на экспертном уровне. На этом уровне пользователь на основании базовых агротехнологий и технологических адаптеров, созданных экспертами БЗ, генерирует адаптивные агротехнологии для собственных полей с учетом актуальной информации о хозяйстве.

Такие адаптивные агротехнологии можно оценивать с экономической и экологической точки зрения и в случае неудовлетворительных оценок менять их параметры (добавлять или исключать те или иные агротехнические операции). То есть еще на этапе планирования пользователь (агроном или руководитель) может смоделировать различные варианты агротехнологий на предстоящий период для каждого поля и оценить результат. Возможность редактирования агротехнологий (изменения параметров) позволяет, в итоге, выбрать оптимальный по экономическим или экологическим параметрам пакет агротехнологий для всех полей хозяйства.

Для реализации этой возможности пользователь заполняет БД актуальной для конкретного хозяйства информацией. В общем виде это основные массивы данных, с которыми работает сельскохозяйственное растениеводческое предприятие, и которые необходимы для генерации агротехнологий, адаптированных для конкретного поля в конкретном хозяйстве.

«Поля» – в этом массиве хранится информация по сельскохозяйственным полям (паспорта полей), включающая общие характеристики (площадь, номенклатурный номер и др.), агрономические и почвенные, агрофизические и агрохимические параметры, историю поля (культуры, сорта, урожайность, севообороты и др.).

«Растения» – этот массив содержит данные о культурных и сорных растениях (виды и сорта культур, их агрономические и сортовые особенности, рекомендации по возделыванию, описания сорняков, средств и методов борьбы с ними).

«Техника» – в этом массиве хранятся сведения о типах и разновидностях сельскохозяйственных машин, орудий, агрегатов и оборудования, имеющихся в хозяйстве. Здесь описаны все необходимые для агротехнологии параметры техники: назначение, диапазоны агрегатируемости и мощности, расход топлива, ширина захвата и др.

Массив «Агрохимикаты» содержит данные о применяемых удобрениях, мелиорантах и средствах защиты растений от сорняков и болезней. В БД хранятся паспорта каждого вносимого агрохимиката — его назначение, содержание действующих веществ, рекомендуемые правила применения, а также другие нормативные и справочные показатели.

Массивы «Финансы» и «Кадры» хранят информацию соответственно об основном финансовом и кадровом обеспечении агротехнологических процессов в хозяйстве. Такие сведения необходимы при планировании агротехнологии с точки зрения ее полной стоимости или стоимости отдельной операции, а также обеспеченности исполнителями.

В массиве «Помещения» содержится информация о помещениях, имеющих различное значение в реализации агротехнологий. Это, как

Рис. 2. Поле пшеницы с тестовыми площадками (цифрами обозначены дозы азота, кг д.в./га).

правило, склады, сортировочные и сушильные комплексы.

Массив «Метеоусловия» хранит сведения о метеорологической обстановке в конкретной местности, а также служит источником исходных данных для подключаемых моделей, которые используют метеопараметры для расчетов и прогнозов.

Отличительная особенность рассматриваемого комплекса — поддержка технологий точного земледелия. При наличии в хозяйстве необходимой техники и оборудования обеспечивается подготовка информационно-технологической базы точного земледелия: создание электронных контуров полей и пространственно-ориентированных картосхем по агрохимическим и агрофизическим показателям, дифференцированное внесение агрохимикатов, работа со спутниковыми и аэрофотоснимками, импорт карт урожайности, картосхем и снимков при помощи различных протоколов обмена данными с бортовыми компьютерами сельхозтехники и мобильных комплексов. Функционал системы поддерживает возможность использования различных математических моделей и предлагает гибкий инструментарий для формализации знаний, генерации и представления результатов, в том числе с использованием ГИС-технологий. В частности, разработанный в лаборатории информационного обеспечения точного земледелия института геоинформационный модуль ГИС-АФИ, интегрированный в систему, позволяет получать, хранить, анализировать и визуализировать пространственно-ориентированные данные, привязанные к координатам с использованием GPS/ГЛОНАСС-приемников, а также создавать для сельскохозяйственной техники, оснащенной бортовыми компьютерами и GPS/ГЛОНАСС-приемниками, карты-задания на выполнение агротехнических операций дифференцированно с учетом местонахождения техники в поле. Программное приложение ГИС-АФИ поддерживает все основные форматы данных, что позволяет импортировать/экспортировать ГИС-данные в/из различных источников [14].

Апробацию ИС проводили с целью формирования с ее использованием технологических рекомендаций, обеспечивающих производственный процесс полевых исследований, в которых изучали влияние сложности и контрастности почвенного покрова на продуктивность различных сельскохозяйственных культур. Для этого на полигоне АФИ проводили многолетний сравнительный эксперимент. Изучали несколько вариантов технологий различной интенсивности: экстенсивная – контрольный вариант, при котором проводили только основные агротехнические мероприятия без дополнительных затрат; высокоинтенсивная, предусматривающая внесение удобрений и средств защиты растений в размерах, полностью удовлетворяющих потребность посева в период вегетации; точное земледелие – дифференцированный подход к расчёту и внесению средств химизации в зависимости от показателей плодородия полей и состояния посевов.

При апробации ИС использовали навигационное оборудование «Агронавигатор плюс» (разработка ООО «Системы точного земледелия», г. Новосибирск), которое комплектуется приемником спутниковых навигационных сигналов системы ГЛОНАСС и обеспечивает субметровую точность вождения техники. В полевых условиях были задействованы две машины РМУ-8000 (Щучинский ремонтный завод, Беларусь) и Amazone (Евротехника, г. Самара), оснащенные электронной системой для автоматического управления дозирующими элементами, а управляющим компьютером служил «Агронавигатор плюс».

Результаты сравнительного анализа показали, что благодаря дифференцированному внесению азотных удобрений по технологии ТЗ значительно увеличилось качество растениеводческой продукции, агрохимическая нагрузка на окружающую среду снизилась на 35...60 %, а окупаемость удобрений и средств защиты растений повысилась в 1,5...1,7 раза на фоне существенного роста урожайности [15]. При этом сокращение объёма применяемых азотных удобрений в варианте «точное земледелие» было достигнуто в основном в результате дифференцированных подкормок в вегетационный период. Для проведения азотных подкормок на опытных полях закладывали тестовые площадки, в почву которых вносили азот в различных дозах. Регулярно проводили дистанционное обследование посевов с использованием беспилотных летательных аппаратов самолётного и вертолётного типов, разработанных в АФИ [16]. На них размещали цифровые камеры для получения аэрофотографий посевов в видимой и инфракрасной областях спектра электромагнитного излучения. На каждой аэрофотографии поля отображали тестовые площадки с известной дозой внесённых азотных удобрений (рис. 2). Средние значения колориметрических (цветовых) характеристик посева на каждой из тестовых площадок – эталонные. Посредством сравнения с ними параметров остальных зон поля проводили оценку потребности растений в азоте. В частности, выделение участков поля, на которых необходимо внесение азотных удобрений, выполняли автоматизированным

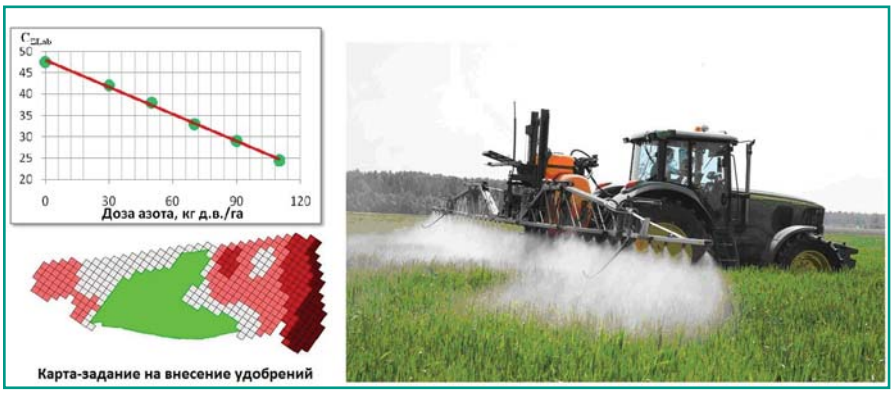


Рис. 3. Азотная подкормка по методу, разработанному в АФИ.

методом построения калибровочных кривых, описывающих зависимость между дозой азота и цветом посева на эталонных участках [17, 18]. Такой подход позволяет оценить обеспеченность растений азотом на любом участке поля (рис. 3). Это доступный, недорогостоящий и достаточно эффективный метод мониторинга посевов, оценки их потребности в азотном питании и прецизионного внесения удобрений, позволяющий обойтись без использования довольно дорогих импортных сенсоров и существенно сокращающий издержки освоения точного земледелия в хозяйствах. Кроме того, весь технологический цикл выполняется полностью в автоматическом режиме и позволяет оперативно в течение одного дня оценить потребность посева в азотном питании и провести дифференцированную подкормку.

Таким образом, очевидно, что любое движение вперед в земледелии в конечном итоге связано с возможностью совершенствования управления продукционным процессом в агроэкосистемах. Разработанная в АФИ ИС позволяет руководителю хозяйства или агроному принимать обоснованные решения на всех временных уровнях, используя знания экспертов в этой области и собственный опыт. Она обладает следующим функционалом:

ведение базы данных по предметной области и по конкретному растениеводческому предприятию;

наполнение и хранение в базе в формализованном виде знаний экспертов, которые используют при генерации адаптивной агротехнологии (агротехнологии для конкретного поля) в хозяйстве;

возможность включения в систему программных модулей (математических моделей), выполняющих дополнительные или сервисные функции при создании или оценке агротехнологии;

ГИС-инструментарий разрабатываемой системы обеспечивает отображение пространственно-ориентированных характеристик поля (тематические картосхемы по агрофизическим, агрохимическим и агрономическим показателям), а также обработку и визуализацию спутниковых данных и аэрофотоснимков;

генерация отчетов и технологических карт по каждому полю в соответствии с планируемой агротехнологией (при применении как традиционных технологий, так и технологии точного земледелия);

возможность генерации карт-заданий на технологические воздействия в системе точного земледелия, включая расчет программируемых урожаев, дифференцированных доз внесения удобрений и других агрохимикатов.

Литература.

1. Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеенко Д. А. Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы // Агрофизика. 2017. № 1. С. 51–65.

2. Акмаров П. Б., Газетдинов М. Х., Князева О. П. Состояние и основные направления развития цифровой экономики в сельском хозяйстве России // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 107-112.

3. Башилов А. М., Королев В. А., Легеза В. Н. Новые возможности цифрового видеонаблюдения при интеграции с биотехническими и информационно-управляющими системами // Вестник НГИЭИ. 2019. № 7 (98). С. 39-49.

4. Иоффе А. Ф. Физика и сельское хозяйство. М.-Л.: АН СССР, 1955. 76 с.

5. Агрофизика от А. Ф. Иоффе до наших дней. СПб.: АФИ, 2002. 358 с.

6. Бондаренко Н.Ф., Полуэктов Р.А., Якушев В.П. Имитационные модели и методы принятия решений при программировании урожаев // Доклады ВАСХНИЛ. 1986. № 2. С. 5–7.

7. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 312 с.

8. Поспелов Г. С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. 280 с.

9. Якушев В. В. Интеллектуальные системы управления для ресурсосберегающих технологий точного земледелия // Экологические системы и приборы. 2010. № 7. С. 26–33.

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

11. О совершенствовании реализации агротехнологических решений в точном земледелии / В. П. Якушев, В. В. Якушев, А. В. Конев и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 13–17.

12. Усков И. Б., Якушев В. П., Чесноков Ю. В. Управление агробиологическими системами – физико-агрономические и генетико-селекционные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 429–436.

13. Имитационная модель агроэкосистемы как инструмент теоретических исследований / В. Л. Баденко, А. Г. Топаж, В. В. Якушев и др. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 437–445.

14. Якушев В. П., Якушев В. В. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // Вестник РАН. 2018. № 9. Т. 88. С. 773–784.

15. Якушев В. П., Лекомцев П. В., Воропаев В. В. Дифференцированное применение средств химизации при выращивании яровой пшеницы // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 4. С. 13–17.

16. Якушев В. П., Блохина С. Ю. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в интересах сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. № 5. С. 257–262.

17. Митрофанова О. А., Буре В. М., Канаш Е. В. Математический модуль для автоматизации колориметрического метода оценки обеспеченности растений азотом // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2016. № 1. С. 85–91

18. Выделение однородных зон сельскохозяйственного поля для закладки опытов с помощью беспилотного летательного аппарата / В. М. Буре, Е. П. Митрофанов, О. А. Митрофанова и др. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления, 2018. Т. 14. № 2. С. 145–150.

Intelligent systems for technology decision support in precision agriculture

V. P. Yakushev, V. V. Yakushev, D. A. Matveenko
Agrophysical Research Institute, Grazhdanskiy prosp., 14, Sankt-Peterburg, 195220, Russian Federation

Abstract. *The extensive application of digital technologies of precision agriculture (PA) in crop production without any doubt is of immediate interest nowadays. At the same time, even in the developed countries, the adoption of PA technologies is restrained by the lack of intelligent systems (IS) for decision support and agrotechnological solution implementation based on the heterogeneous data and problem-oriented knowledge. The purpose of the work was to summarize the experience of Agrophysical Research Institute (AFI) in the field of computer applications in agriculture, to present a modern structure, construction principles and a systematic organization diagram for collecting agrotechnological knowledge and heterogeneous spatial-attribute data, to create on this basis a prototype of an intelligent system for supporting planned and operational technological solutions for the precision production of crop products. The IS functional provides the formalization of declarative agro-technological and procedural (mathematical models) knowledge, generates electronic maps applying GIS tools for variable-rate technology implementation based on heterogeneous data and knowledge base, including remote sensing data, and supports the main data formats to import/export spatial attribute information using various data exchange protocols with on-board computers of agricultural equipment and mobile complexes. As a result of IS application the quality of crop production considerably improved, the agrochemical impact on the environment reduced by 35–60%, the recoupment of fertilizers and crop protection means increased 1.5–1.7 times with essential growth of crop yield. Practical evaluation of the intelligent system was realized by integration with the domestic on-board navigation equipment «Agronavigator Plus» and robotic units based on RMU-8000 vehicle.*

Keywords: *aerospace techniques and methods; data and knowledge base; electronic control card; global positioning system; hardware and software; information and measuring systems; intelligent systems; optical characteristics of crops; precision agriculture; remote sensing of the Earth.*

Author Details: *V. P. Yakushev, D. Sc. (Agr.), member of the RAS, head of department (e-mail: vyakushev@agrophys.ru); V. V. Yakushev, D. Sc. (Agr.), corresponding member of the RAS, head of laboratory (e-mail: mail@agrophys.com); D. A. Matveenko, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: dmatveenko@inbox.ru).*

For citation: *Yakushev VP, Yakushev VV, Matveenko DA. [Intelligent systems for technology decision support in precision agriculture]. Zemledelie. 2020;(1):33-7. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10109.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10110
УДК: 631.51

Влияние основной обработки чернозёма типичного на урожайность культур севооборота

Л. Н. ВИСЛОБОКОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, врио директора (email: tniish@mail.ru)
В. А. ВОРОНЦОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Ю. П. СКОРОЧКИН, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. отделом (email: yskorochkin@mail.ru)
Тамбовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального Научного центра им. И. В. Мичурина, ул. Зеленая, 10, пос. Жемчужный, Ржаксинский р-н, Тамбовская обл., 393502, Российская Федерация

В стационарном полевом опыте на типичном чернозёме Тамбовской области исследовали эффективность систем обработки почвы в зернопаропропашном (чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень) и зернопаровом (чёрный пар – озимая пшеница – соя – ячмень) севооборотах. Работу проводили соответственно в 2001–2011 гг. и 2012–2017 гг. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: традиционная отвальная, дискование, безотвальная, комбинированная. Цель исследований – определение влияния приемов основной обработки почвы на формирование урожайности возделываемых культур в севооборотах. Урожайность озимой пшеницы, как в зернопаропропашном, так и в зернопаровом севообороте, практически не зависела от способа основной обработки почвы. Поверхностная обработка снижала сбор корнеплодов сахарной свёклы на 4,7 т/га, в сравнении с традиционной отвальной вспашкой, при $НСР_{05}$ = 3,0 т/га. Ячмень более высокий урожай формировал при технологии с комбинированной отвально-безотвальной системой обработки почвы в севооборотах: в зернопаропропашном – 4,0 т/га, в зернопаровом – 4,2 т/га, при уровне в контроле соответственно 3,95 и 4,13 т/га. Самый низкий в опыте сбор зерна ячменя в севооборотах отмечен на фоне дискования – 3,59 и 3,95 т/га. Разница в урожайности сои по вариантам основной обработки почвы находилась в пределах ошибки опыта. Максимальный в опыте выход зерновых единиц в севооборотах отмечен при комбинированной отвально-безотвальной системе обработки почвы – 5,46 тыс./га в зернопаропропашном и 2,75 тыс./га в зернопаровом. Возделывание сельскохозяйственных культур в зернопаропропашном севообороте на фоне дискования приводит к достоверному (на 0,39 тыс. зерн. ед./га) снижению продуктивности пашни, по сравнению с традиционной отвальной вспашкой. В зернопаровом севообороте применение ресурсосберегающих систем основной обработки почвы (дисковой и безотвальной) не оказывает существенного влияния на величину этого показателя.

Ключевые слова: *обработка почвы, урожайность, продуктивность, севооборот, чернозём.*

Для цитирования: *Вислобокова Л. Н., Воронцов В. А., Скорочкин Ю. П. Влияние основной обработки чернозёма типичного на урожайность культур севооборота // Земледелие. 2020. № 1. С. 38–40. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10110.*

Основная обработка почвы – один из главных элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур и важный приём регулирования питательного [1, 2] и водного [3, 4] режимов почвы. В последние годы большое внимание при изучении и совершенствовании систем обработки почвы уделяется новым приёмам с ресурсосберегающей направленностью, известным как минимальная, безотвальная, комбинированная и нулевая обработки [5, 6, 7].

В то же время считается, что использование систематической поверхностной, безотвальной и, особенно нулевой, обработки под все культуры севооборотов не целесообразно, желательно сочетать их с отвальной обработкой [8, 9, 10].

Цель исследований – определение влияния приемов основной обработки почвы на формирование урожайности культур в севооборотах для совершенствования технологий их возделывания.

Работу проводили в Тамбовском НИИСХ, расположенном в северо-восточном регионе ЦЧЗ, в стационарных полевых опытах в 2001–2011 гг. в зернопаропропашном (пар чёрный – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень) и в 2012–2017 гг. в зернопаровом (пар чёрный – озимая пшеница – соя – ячмень) севооборотах, развёрнутых в пространстве и во времени. Схема опыта предусматривала изучение следующих систем основной обработки почвы: 1) традиционная отвальная вспашка на глубину 20...22 см под зерновые культуры и на 25...30 см под сахарную свёклу и сою; 2) дискование на 8...12 см под все культуры севооборота; 3) безотвальная обработка на 20...22 см под зерновые и на 25...30 см под сахарную свёклу и сою; 4) комбинированная (вспашка – под сахарную свёклу и сою, безотвальная обработка – под зерновые культуры). Основную обработку почвы выполняли осенью (сентябрь – октябрь). При проведении вспашки использовали плуг ПН-5-35, дискования – дискатор БДМ 3×4, безотвальной обработки – плуг ПЧ-2,5. Закрытие влаги проводили весной по мере созревания почвы боронами БЗСС-1,0. Предпосевную обработку под зерновые культуры осуществляли культиватором КПН-4,2 на глубину 4...6 см, под сахарную свёклу – УСМК-5,4 на 3...4 см. Посев зерновых культур проводили сеялкой СЗ-5,4, сахарной свёклы – ССТ-12В с нормой высева озимой пшеницы – 4,0...4,5 млн всхожих семян на 1 га, ячменя – 5,5...6 млн шт./га, сахарной свёклы – 6...7 плодиков на погонный метр, сои – 700...800 тыс. шт./га. В период вегетации посевы опрыскивали химическими средствами защиты растений с целью борьбы с сорняками, болезнями и вредителями (гербициды – Примадонна 0,8 л/га, Фенизан 0,2 л/га, Овсюген Супер и Овсюген Экспресс по 0,4 л/га, Гермес 0,9 л/га, Бетарен Экспресс 2,0 л/га, Бетарен ФД-11 2,0 л/га, Фуроре Экспресс 0,8 л/га, Лорнет 0,3 л/га; фунгициды – Титул Дуо 0,25 л/га, Титул-390 0,26 л/га; инсектициды – Имидор 0,06 л/га, Кинфос 0,25 л/га, Фаскорд 0,15 л/га). При переводе урожая в зерновые единицы использовали следующие коэффициенты: для зерновых – 1,0, для сахарной свёклы – 0,26, для сои – 1,17. Урожай-

Влияние различных систем основной обработки почвы на урожайность культур и продуктивность севооборотов

Система обработки почвы	Зернопаропропашной севооборот (2001–2011 гг.)					Зернопаровой севооборот (2012–2017 гг.)				
	озимая пшеница	сахарная свёкла	ячмень	выход продукции с 1 га пашни		озимая пшеница	соя	ячмень	выход продукции с 1 га пашни	
				зерна, т	зерновых единиц, тыс.				зерна, т	зерновых единиц, тыс.
Отвальная вспашка	3,83	53,3	3,95	1,94	5,41	4,56	1,78	4,13	2,62	2,71
Систематическое дискование	3,85	48,6	3,59	1,86	5,02	4,67	1,85	3,95	2,62	2,71
Систематическая безотвальная обработка	3,77	51,1	3,80	1,89	5,21	4,49	1,74	4,02	2,56	2,65
Комбинированная обработка	3,86	53,8	4,00	1,96	5,46	4,56	1,84	4,21	2,65	2,75
$НСР_{05}$, т/га	0,26	3,00	0,19			0,34	0,10	0,34		

ные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (1979).

Системы основной обработки почвы изучали на удобренном фоне: в зернопаропропашном севообороте под озимую пшеницу и ячмень вносили по $N_{60}P_{60}K_{60}$, под сахарную свёклу – $N_{120}P_{120}K_{120}$; в зернопаровом севообороте – под каждую культуру ежегодно по $N_{60}P_{60}K_{60}$. В качестве удобрения использовали азофоску с соотношением питательных элементов 16:16:16.

Почва – чернозём типичный с содержанием гумуса в пахотном слое (0...30 см) 6,6...6,8 % (по Тюрину). Реакция почвенного раствора – нейтральная (pH солевой вытяжки 6,3). По гранулометрическому составу почва тяжелосуглинистая. Обеспеченность подвижным фосфором и калием высокая – соответственно 152 и 133 мг/кг (по Чирикову). Климат континентальный, его характерная особенность – неустойчивость температуры воздуха и неравномерность выпадения осадков по временам года и в период вегетации.

В Тамбовской области среднее годовое количество осадков составляет 502 мм, из них 60...70 % приходится на вегетационный период. Важная особенность водного режима почв – значительная водонасыщенность почвенного профиля в летний период благодаря осенним осадкам и весеннему снеготаянию. Наибольший запас продуктивной влаги в метровом слое (от 100 до 200 мм) отмечается в начале вегетационного периода.

Метеоусловия в годы проведения опытов резко отличались. Так, в период с 2001 по 2011 гг. пять лет (2002, 2005, 2007, 2009, 2010 гг.) характеризовались как засушливые, сумма осадков за вегетационный период составляла 57,0...70,1 % от нормы, самую сильную засуху наблюдали в 2010 г., когда за вегетационный период выпало всего 162,5 мм осадков (57 % от нормы), а температура воздуха превышала среднемноголетнюю на 5,1 °С. Шесть лет (2002, 2003, 2006, 2007, 2009, 2010) отличались весенней засухой. Благоприятными по увлажнению были 2001, 2003, 2004, 2006, 2008 и 2011 гг., когда сумма осадков за вегетацию превышала норму в 1,1...1,2 раза. В 2012–2017 гг. все вегетационные периоды (апрель – сентябрь) отличались избыточным увлажнением. При этом наибольшее количество осадков выпало в 2016 и 2017 гг. – в 2,0 и 1,8 раза выше среднемноголетних показателей (284,8 мм). По температурному режиму 4 года характеризовались повышенной теплообеспеченностью вегетационных периодов – на 1,5...2,7 °С больше нормы (14,6 °С) и два года (2012 и 2016 гг.) по величине этого показателя были близкими к норме. Всё это позволило объективно и всесторонне оценить влияние основной обработки на процессы, происходящие в почве и формирование урожайности возделываемых культур в севооборотах.

В зернопаропропашном севообороте использование технологий, основанных на систематическом дисковании и безотвальной системе основной обработки почвы, не оказывало существенного влияния на формирование урожайности озимой пшеницы, которая на их фоне составила 3,77...3,86 т/га, при величине этого показателя по отвальной вспашке 3,83 т/га (см. табл.).

Наиболее благоприятные условия для сахарной свёклы складывались после отвальной вспашки. При этом некоторое преимущество отмечали в варианте с комбинированной системой основной обработки почвы, при которой урожайность сахарной свёклы составила 53,8 т/га против 53,3 т/га при традиционной отвальной вспашке под все культуры севооборота.

Замена при подготовке почвы под сахарную свёклу отвальной вспашки на дискование обусловила существенное снижение урожайности, составившее в среднем за 11 лет, в сравнении с отвальной вспашкой, 4,7 т/га. В то же время применение безотвальной обработки с использованием чизельного плуга не оказывало достоверного влияния на сбор корнеплодов сахарной свёклы. Разница в урожайности между отвальной вспашкой и безотвальной обработкой в сторону снижения была несущественной – 2,2 т/га.

Применение дискования под ячмень привело к достоверному уменьшению сбора зерна этой культуры на 0,36 т/га, по сравнению с отвальной вспашкой. В то же время по безотвальной обработке почвы снижение урожайности ячменя находилось в пределах ошибки опыта – 0,15 т/га.

Наибольшую в опыте продуктивность пашни в зернопаропропашном севообороте отмечали при использовании агротехнологий, основанных на комбинированной системе основной обработки почвы. В среднем за 3 ротации она составила 5,46 тыс. зерн. ед./га. Систематическое дискование и безотвальная система обработки почвы снижали величину этого показателя на 0,44 и 0,25 тыс. зерн. ед./га соответственно.

В зернопаровом севообороте, в отличие от зернопаропропашного, где замена традиционной отвальной вспашки систематическим дискованием приводила к снижению урожайности культур, отмечена тенденция к повышению продуктивности озимой пшеницы и сои. Исключение составил ячмень, урожайность которого уменьшилась на 0,18 т/га. В целом применение в этом севообороте дисковой основной обработки обеспечивало формирование продуктивности на одинаковом уровне с традиционной отвальной вспашкой под все культуры. Некоторое преимущество по величине этого показателя отмечали в варианте с комбинированной системой основной обработки почвы, в котором выход зерновых единиц с 1 га составил 2,75 тыс., при 2,71 тыс. в контроле.

Таким образом, в условиях северо-востока ЦЧЗ из систем основной обработки почвы в зернопаропропашном севообороте преимущество имеет комбинированная, сочетающая вспашку под пропашные культуры (сахарная свёкла) с безотвальной обработкой под зерновые. Систематическая дисковая обработки почвы в таком севообороте приводит к существенному (на 0,39 тыс. зерн. ед./га) снижению продуктивности пашни.

В зернопаровом севообороте, наряду с традиционной отвальной вспашкой и комбинированной системой основной обработки почвы, обеспечивающими выход зерновых единиц с 1 га на уровне 2,71...2,75 тыс., возможно применение технологий возделывания культур, основанных на систематической дисковой или безотвальной системах обработки, несущественно снижающих продуктивность пашни до 2,65...2,71 тыс. зерн. ед./га.

Литература.

1. Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. 242 с.
2. Баланс фосфора и обеспеченность им выщелоченного чернозёма в зависимости от севооборота, приемов обработки и удобрений в лесостепи Алтайского Приобья / В. И. Усенко, С. В. Усенко, Т. А. Литвинцева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 10. С. 14–17.
3. Лебедева Т. И., Зубарев Ю. Н., Каменских Н. Ю. Влияние на урожайность озимых зерновых культур различных приемов паровой обработки в условиях Среднего Предуралья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (56). С. 32–42.
4. Шакиров Р. С., Бикмухаметов З. М., Хисамиев Ф. Ф. Адаптивные влагоресурсосберегающие приемы повышения продуктивности яровой пшеницы и воспроизводства плодородия серой лесной почвы Предкамья Татарстана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 1 (48). С. 83–90.
5. Корепанова Е. В., Галиев Р. Р., Гореева В. Н. Реакция сортов льна масличного ВНИИМК 620 и Северный на приемы зяблевой обработки почвы в Среднем Предуралье // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 27-33.
6. Computation of Tupical Chernozem in Long-Run Response to Primary Tillage Operations / V. Vorontsov, Yu. Skorochkin, O. Ivanova etc. // J. Comput. Theor. Nanosci. 2019. № 16. P. 250–254.
7. Скорочкин Ю. П., Воронцов В. А. Изменения агрохимических показателей чернозёма типичного // Чернозёмы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования / Под ред. Д. И. Щеглова. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2017. С. 483–486.
8. Плодородие чернозёма типичного при минимализации основной обработки / Г. Н. Черакасов, Е. В. Дубовик, Д. В. Дубовик и др. // Земледелие. 2012. № 4. С. 23–25.
9. Loss and Recovery of Soil Organic Carbon and Nitrogen in a Semiarid Agroecosystem / J. B. Notron, J. Eusebleus, M. Notron, etc. // Soil Organic Society of America Journal. 2012. № 76 (2). Pp. 505–514.
10. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г. Комбинированные системы основной обработки наиболее эффективны и обоснованы // Земледелие. 2006. № 6. С. 20–22.

Influence of typical chernozem tillage on the productivity of crops

L. N. Vislobokova, V. A. Vorontsov, Yu. P. Skorochkin
Tambov Research Agricultural Institute – the branch of I. V. Michurin Federal Research Center, ul. Zelenaya, 10, pos. Zhemchuzhnyi, Rzhaksinskii r-n, Tambovskaya obl., 393502, Russian Federation

Abstract. *In a stationary field experiment in typical chernozem of the Tambov region, the effectiveness of soil tillage systems was studied in a grain-fallow (bare fallow, winter wheat, sugar beet, barley) and grain-row (bare fallow, winter wheat, soybean, barley) crop rotations. The work was carried out in 2001–2011 and 2012–2017, respectively. The experimental design included the following options: traditional moldboard ploughing, disking, nonmoldboard cultivation, and combined treatment. The research aimed to determine the influence of the tillage methods on the formation of crop productivity in crop rotations. The yield of winter wheat, both in grain-fallow-row and grain-fallow crop rotations, practically did not depend on the method of primary tillage. Surface treatment reduced the yield of sugar beet roots by 4.7 t/ha, in comparison with the traditional ploughing, with LSD05 = 3.0 t/ha. Barley formed a higher yield at the combined soil tillage system: in the grain-fallow-row crop rotation, the yield was 4.0 t/ha, in the grain-fallow rotation, it was 4.2 t/ha. In the control, the yield was 3.95 t/ha and 4.13 t/ha, respectively. In the experiment, the lowest harvest of barley grain was noted against the background of disking: 3.59 t/ha and 3.95 t/ha. The difference in soybean yield over the main tillage options was within the experimental error. The maximum yield of cereal units (CU) in the crop rotations was noted at the combined system of tillage: 5,460 CU/ha in the grain-fallow-row crop rotation and 2,750 CU/ha in the grain-fallow crop rotation. The cultivation of crops in the grain-fallow-row crop rotation against the background of disking led to a significant (by 390 CU/ha) decrease in arable land productivity, as compared to traditional moldboard ploughing. In the grain-fallow crop rotation, the use of resource-saving systems of tillage (surface and nonmoldboard) did not significantly affect the value of this indicator.*

Keywords: *tillage; yield; productivity.; crop rotation; chernozem.*

Author Details: *L. N. Vislobokova, Cand. Sc. (Agr.), acting director (email: tniish@mail.ru); V. A. Vorontsov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; Yu. P. Skorochkin, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow (email: yskorochkin@mail.ru).*

For citation: *Vislobokova LN, Vorontsov VA, Skorochkin YuP. [Influence of typical chernozem tillage on the productivity of crops]. Zemledelie. 2020;(1):38-40. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10110.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10111
УДК 631.439

Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала

Я. З. КАИПОВ, доктор сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией (e-mail: akaipov@mail.ru)
Р. Л. АКЧУРИН, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. отделом (e-mail: rifkat-61@rambler.ru)
З. Р. СУЛТАНГАЗИН, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник (e-mail: zufar-75@mail.ru)
А. Х. ШАКИРЗЯНОВ, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Уфимского федерального исследовательского центра РАН, ул. Р. Зорге, 19, Уфа, 450059, Российская Федерация

Цель работы – выявить способ обработки почвы, обеспечивающий ресурсосбережение и стабильную урожайность зерновых культур в условиях засушливой степи Южного Урала. Исследования проводили в 2017–2018 гг. в восточных предгорьях степи Южного Урала в Республике Башкортостан. Почва – чернозем обыкновенный. Климат засушливый. Годовое количество осадков 330 мм. Схема опыта: отвальная обработка на глубину 23...25 см (контроль); безотвальная обработка на 27...30 см; поверхностная обработка на 10...12 см; нулевая обработка – прямой посев. Годы исследований были более засушливыми, по сравнению со среднемноголетними данными. Применяли общепринятые методики определения агрофизических свойств почвы. Содержание агрономически ценных структурных агрегатов почвы в пахотном слое составило 79...82 % с тенденцией увеличения при поверхностной и нулевой обработках. В этих вариантах отмечен более высокий коэффициент структурности почвы. Наи-

меньшая в опыте плотность слоя почвы 0...30 см (1,15 г/см²) установлена при отвальной обработке, наибольшая при поверхностной и нулевой обработках (1,19 и 1,20 г/см³). Такое сложение почвы способствовало возникновению разницы в водном режиме. Более высокое содержание продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом (135...140 мм), по сравнению со вспашкой, отмечено в вариантах нулевой, поверхностной и безотвальной обработок. Наибольшая в опыте урожайность зафиксирована в варианте с поверхностной обработкой – 1,78 т/га. При безотвальной и нулевой обработках собрано по 1,76 т/га зерна, что незначительно выше контроля (1,73 т/га). Наибольшее ресурсосбережение обеспечили поверхностная и нулевая обработки, снижающие производственные затраты на 16 и 22 %. Для сокращения материальных и трудовых затрат и повышения урожайности зерновых культур целесообразно применять поверхностную и нулевую обработку обыкновенных черноземов.

Ключевые слова: *обыкновенные черноземы, ресурсосберегающие обработки, агрофизические свойства, яровая пшеница, урожайность.*

Для цитирования: *Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала / Я. З. Каипов, Р. Л. Акчурин, З. Р. Султангазин и др. // Земледелие. 2020. № 1. С. 40–43. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10111.*

Современное земледелие становится все более энергозатратным. За повышение урожайности полевых культур землепользователи расплачиваются возрастающими затратами на удобрения, средства защиты растений (СЗР), топливо для тяговой силы в технологиях. Все это ведет к нарушению равновесия в круговороте материи и энергии в системе растение – почва – атмосфера в направлении преобладания невозобновляемых источников над возобновляемыми. Для сокращения энергетических и материальных вложений в агроэкосистемы, ученые ищут возможности их минимализации без снижения хозяйственной продуктивности. Проводятся исследования по нулевым технологиям, предусматривающим полный отказ от механических обработок почвы [1, 2, 3], разрабатываются новые машины и орудия для реализации менее энергоемких спсособов обработки почвы [4, 5]. При этом достигается существенное снижение энергетических и трудовых затрат в технологиях, лучше обеспечивается воспроизводство плодородия почвы [6]. Однако в ряде случаев необходимо применять более умеренное снижение механического возделывания на почву, чтобы избежать возможных негативных последствий нулевой технологии [7, 8, 9]. В современной России в результате разнообразия почвенно-климатических условий и экономических ограничений преобладает умеренное ресурсосбережение в обработках почвы. Такое положение характерно и для предгорной степи Южного Урала, в пределах юго-восточного региона Республики Башкортостан. Ранее было установлено, что в результате комбинированной обработки почвы, заключающейся в систематической поверхностной обработке на глубину 10...12 см под яровую пшеницу и ячмень и глубоком безотвальном рыхлении под горох в зернопаровом севообороте, несмотря на некоторое увеличение засоренности посевов, благодаря улучшению водного режима почвы зерновая продуктивность севооборота имела тенденцию к слабому повышению, по сравнению с отвальной системой. Основной хозяйственный эффект заключался в ресурсосбережении [10].

Цель исследований – выявление способа обработки, обеспечивающего улучшение агрофизических свойств почвы, оптимальное ресурсосбережение и стабильную урожайность зерновых культур в условиях засушливой степи Южного Урала.

Исследования проводили в 2017–2018 гг. в Баймакском научном подразделении Башкирского НИИСХ. Опытное поле расположено в восточных предгорьях степи Южного Урала. Рельеф равнинный, почва – чернозем обыкновенный среднемощный тяжелосуглинистый. В пахотном слое исходная почва содержала 6,4 % общего гумуса (по Тюрину), имела близкую к нейтральной реакцию среды (pH солевой вытяжки 5,6...6,0), повышенную обеспеченность подвижными (по Чирикову) соединениями фосфора и калия – соответственно 130 и 110 мг/кг. Климат резко континентальный, засушливый. Годовое количество осадков 330 мм, из них 198 мм – в активный (май – сентябрь) вегетационный период. Ресурсосберегающие способы обработки почвы изучали в зернопаровом севообороте с чередованием культур: пар чистый и химический – яровая пшеница – яровая пшеница – горох – ячмень. Схема опыта включала следующие способы обработки почвы: отвальная – вспашка плугом ПН-4-35 на глубину 23...25 см (контроль); безотвальная – рыхление чизелем ПЧ-2,5 на 27...30 см; поверхностная – дискование БДМ 3×4 П на 10...12 см; нулевая – прямой посев СЗС-2,1 с анкерными сошниками. Общая площадь делянок в опыте – 440 м², учетная – 340 м². Повторность трехкратная. Влияние обработки на свойства почвы и урожайность зерна определяли на второй в севообороте яровой пшенице. Обработку почвы выполняли осенью после уборки предшественников. Структурно-агрегатный состав почвы определяли методом Саввинова; плотность почвы – методом режущего цилиндра по Качинскому; влажность почвы – термостатно-весовым методом. Корреляционный анализ проводили в программе Excel.

Вегетационный период 2017 г. был засушливым, с мая по август выпало 135 мм осадков, что составляло 81 % от нормы. Обеспеченость осадками в 2018 г. была еще меньше – 73 %, что вызвало иссушение метрового слоя почвы до значений 6...10 мм продуктивной влаги и формирование низкой урожайности яровой пшеницы порядка 1,20...1,25 т/га. Средняя теплообеспеченность за годы исследования была в пределах обычной. Однако во второй половине лета (июль–август) среднесуточная температура воздуха превышала норму на 2...3 °С, что усиливало засушливость погоды.

Способы обработки слабо влияли на структурно-аргегатный состав почвы. Содержание агрономически ценных агрегатов в пахотном слое в вариантах с безотвальной и отвальной обработками составило 79,4...79,6 % (табл. 1).

1. Влияние способов обработки на структурно-агрегатный состав почвы (среднее за 2017–2018 гг.)

Обработка почвы	Содержание структурных агрегатов, %			Коэффициент структурности (Кс)
	> 10 мм	0,25...10 мм	< 0,25 мм	
Отвальная (контроль)	15,4	79,6	9,3	3,2
Безотвальная	15,6	79,4	8,7	3,3
Поверхностная	14,6	80,5	8,8	3,5
Нулевая	14,0	81,6	8,6	3,6
$НСР_{05}$		2,0		0,2

Чуть большая оструктуренность со значениями 80,5...81,6 % отмечена при поверхностной и нулевой обработках. Другие авторы отмечают более существенное увеличение содержания агрономически ценных агрегатов почвы при переходе от традиционной к нулевой обработке чернозема южного [11]. Количество агрономически ценных структурных комочков в пахотном слое почвы во всех изучаемых вариантах опыта находилось на верхней границе интервала для типичных образцов обыкновенных черноземов [12]. Это

значит, что структура почвы оставалась устойчивой. Однако по коэффициентам структурности, отражающим потенциальную способность почвы к формированию зернистых комочков, различия были значительными. Более высокие величины этого показателя (3,5 и 3,6) отмечены при поверхностной и нулевой обработках почвы, а наименьшие (3,2 и 3,3) – при отвальной и безотвальной.

Так как плотность почвы мы определяли в середине вегетации яровой пшеницы, то ее величина в пахотном слое приближалась к равновесному состоянию, но различалась в зависимости от способов обработки (табл. 2).

2. Влияние способов обработки на плотность пахотного слоя почвы (среднее за 2017–2018 гг.)

Обработка почвы	Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см^3
Отвальная (контроль)	0…10	1,08
	10…20	1,14
	20…30	1,22
	0…30	1,15
Безотвальная	0…10	1,11
	10…20	1,19
	20…30	1,22
	0…30	1,18
Поверхностная	0…10	1,13
	10…20	1,18
	20…30	1,25
	0…30	1,19
Нулевая	0…10	1,14
	10…20	1,18
	20…30	1,26
	0…30	1,20
$НСР_{05}$		0,03

Наименьшая в опыте величина этого показателя отмечена в варианте отвальной обработки – в среднем по слою 0…30 см 1,15 г/см^3. Наибольшие в опыте значения показателя в этом слое (1,19 и 1,20 г/см^3) она была при поверхностной и нулевой обработках. Пахотный слой в результате этих обработок был достоверно на 3,5…4,3 % более плотным, чем в контроле. Такая ситуация характерна для всех слоев пахотного горизонта. При этом самая высокая разница установлена в самом верхнем (0…10 см) слое почвы.

Различия в агрофизических свойствах почвы, зависящие от способов обработки, изменяли ее водный режим. Более высокие запасы продуктивной влаги в метровом слое перед посевом (135…140 мм) отмечали в вариантах с нулевой, поверхностной и безотвальной обработками (табл. 3). При вспашке ее накапливалось значительно меньше – 126 мм. Такая разница объясняется характером изменения поверхностного слоя почвы и движением влаги в зависимости от условий погоды.

При отвальной обработке лишенный стерневых и растительных остатков поверхностный слой почвы, обладавший к тому же меньшей структурностью, подвергся частичному разрушению осенними и весенними дождями и меньше пропускал влагу теплого периода в метровый слой, по сравнению с почвозащитными обработками. Снеговые осадки, составляющие всего лишь четвертую часть годового количества, вероятнее всего, не имели значимого влияния на различия по влагозарядке по способам обработки почвы. С другой стороны, излишне рыхлая вспаханная почва сильнее теряла влагу на испарение, особенно в предпосевной период, когда преобладали дни с повышенной ветровой активностью. Перечисленные процессы приводили к снижению влагообеспеченности метрового слоя почвы при отвальной обработке. В итоге в этом варианте в среднем за 2 года исследований предпосевной запас продуктивной влаги оказался на 8…14 мм меньше, по сравнению с почвозащитными фонами. При других, изучавшихся в опыте, обработках сохраненная стерня защищала поверхность почвы от распыления и почвенная толща лучше насыщалась влагой. Аналогичное отставание отвальной обработки по влагообеспеченности почвы зафиксировано и в фазе полных всходов яровой пшеницы (табл. 3). В фазе колошение–цветение культуры влажность почвы по вариантам обработки выравнивалась, однако первоначальные различия могли сказаться на урожайности яровой пшеницы.

3. Динамика продуктивной влаги в почве (среднее за 2017–2018 гг.), мм

Слой почвы, см	Перед посевом	Фазы вегетации		
		полные всходы	колошение-цветение	полная спелость
Отвальная обработка (вспашка ПН-4-35)				
0…20	22,4	18,1	7,8	5,0
0…50	61,9	52,1	16,6	7,6
0…100	126,5	110,0	32,2	21,4
Безотвальная обработка (чизельное рыхление ПЧ-2,5)				
0…20	30,5	24,2	7,4	3,5
0…50	69,6	57,8	12,6	7,5
0…100	139,1	124,4	30,6	14,6
Поверхностная обработка (дискование БДМ 3×4 П)				
0…20	35,2	26,3	8,7	5,5
0…50	64,2	58,6	18,5	13,4
0…100	140,5	131,6	38,5	30,6
Нулевая обработка (прямой посев СЗС-2,1 с анкерными сошниками)				
0…20	32,0	28,2	7,7	5,6
0…50	62,6	58,2	16,8	12,7
0…100	135,4	122,6	33,3	26,1

Основные факторы, влияющие на урожайность яровой пшеницы, – влагообеспеченность почвы и ее агрофизические свойства, определяющие водный режим. Другие учтенные в опыте факторы – содержание в почве нитратного азота, подвижного фосфора и калия оставались практически одинаковыми во всех вариантах опыта в течение вегетационного периода. Корреляционный анализ выявил высокие коэффициенты зависимости урожайности яровой пшеницы от среднего содержания продуктивной влаги в почве за вегетационный период (r = 0,97), плотности (r = 0,82) и коэффициента структурности почвы (r = 0,71). Более высокая урожайность зерна яровой пшеницы сформировалась в варианте с поверхностной обработкой – 1,78 т/га, что выше, чем при отвальной обработке, на 0,05 т/га (табл. 4).

4. Влияние способов обработки почвы на урожайность зерна яровой пшеницы (среднее за 2017–2018 гг.)

Обработка почвы	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, %
Отвальная (контроль)	1,73	–
Безотвальная	1,76	1,7
Поверхностная	1,78	2,9
Нулевая	1,76	1,7
$НСР_{05}$	0,03	

По безотвальной и нулевой обработке собрано по 1,76 т/га зерна, что незначительно больше контроля и носят характер тенденции. Основным фактором, способствующим повышению урожайности при поверхностной, нулевой и безотвальной обработках, стала более высокая увлажненность метрового слоя почвы. При близких величинах формируемых урожаев несомненное преимущество приобретают те технологии, которые обеспечивают наибольшую экономию

5. Экономическая эффективность технологий возделывания яровой пшеницы с различными способами обработки почвы

Обработка почвы	Прямые затраты, руб./га	Чистая прибыль, руб./га	Рентабельность, %	Себестоимость 1 т зерна, руб.
Отвальная (контроль)	7088	5022	71	4100
Безотвальная	6162	6157	100	3500
Поверхностная	5955	6504	109	3350
Нулевая	5538	6781	122	3150

материальных затрат на единицу производимой продукции. В этом отношении наиболее эффективны были варианты с нулевой и поверхностной обработкой почвы (табл. 5).

По сравнению со вспашкой, в технологии с безотвальной обработкой производственные затраты оказались меньше на 13 %, с поверхностной – на 16 % и с нулевой – на 22 %. В результате рентабельность при отвальной технологии составила 71 %, а при почвозащитных обработках – 100...122 %. Ресурсосбережение, заключавшееся в снижении интенсивности обработки почвы, по сравнению со вспашкой, приводило к повышению прибыльности производства.

Таким образом, поверхностная и нулевая обработки способствуют повышению коэффициента структурности почвы до 3,5...3,6 при величине этого показателя по вспашке 3,2. В результате этих же обработок пахотный слой почвы уплотняется, по сравнению с контролем, в среднем на 3,5...4,3 %. Более высокая разница по плотности наблюдается в верхнем 10-сантиметровом слое почвы, что способствует сохранению влаги от физического испарения. К посевному периоду в метровом слое почвы при почвозащитных обработках продуктивной влаги накапливается на 9...14 мм больше. Это преимущество во влагозапасах перед отвальной обработкой сохраняется до фазы полных всходов яровой пшеницы. Наиболее благоприятное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы оказывает поверхностная обработка почвы с применением дискатора БДМ 3×4 П на глубину 10...12 см. Урожайность в этом варианте формируется на 0,05 т/га (2,9 %) выше, чем после вспашки. Достоверно более высокий, в сравнении с контролем, урожай зерна яровой пшеницы формируется и в вариантах с нулевой и безотвальной обработками. По ресурсосбережению имеют преимущество технологии с нулевой и поверхностной обработками, обеспечивающие снижение производственных затрат на 22 и 16 %. В целях ресурсосбережения и повышения урожайности зерновых культур в засушливой степи предгорной зоны Южного Урала целесообразно применять поверхностную и нулевую обработки обыкновенных черноземов.

Литература.

1. Кирюшин В.И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 3. С. 5–10.

2. Средообразующая роль фитосанитарных культур, возделываемых по No-till технологии, в севооборотах / А.Н. Власенко, Н.Г. Власенко, П.И. Кудашкин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 6. С. 5–9.

3. Особенности формирования площади листьев сортами яровой твёрдой пшеницы на фоне различных приёмов основной обработки почвы в условиях оренбургского предуралья / И.Н. Бесалиев, С.М. Чурбакова, Л.А. Мухитов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2 (49). С. 14–18.

4. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // Б.Х. Ахалая, Ю.Х. Шогенов, С.И. Старовойтов и др. // Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3 (54). С. 92–95.

5. Многофункциональный почвообрабатывающий агрегат со сменными рабочими органами / В.Л. Андреев, С.Л. Дёмшин, В.В. Ильичёв // Вестник НГИЭИ. 2018. № 11 (90). С. 87–102.

6. Сафин Х. М., Шварц Л. С., Фахрисламов Р. С. Технология No-till в системе сберегающего земледелия: теория и практика внедрения. Уфа: Мир печати, 2013. 72 с.

7. Холмов В. Г., Юшкевич Л. В., Мавленко А. Н. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых на черноземах лесостепи Западной Сибири // Освоение адаптивно-ландшафтных систем и агротехнологий на целинных землях. Куртамыш: Челябинский НИИСХ, 2009. С. 102–106.

8. Кирюшин В. И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // Земледелие. 2019. № 3. С. 3–7.

9. Усенко С. В., Усенко В. И. Реакция гороха на условия увлажнения, приемы основной обработки почвы, минеральные удобрения и средства защиты растений // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 14–17.

10. Каипов Я. З., Султангазин З. Р., Абдуллин М. М. Эффективность комбинированной обработки почвы в условиях восточных предгорий степи Южного Урала // Земледелие. 2015. № 2. С. 22–24.

11. Изменение показателей состояния органического вещества и физических свойств чернозема южного при переходе от традиционной к нулевой обработке / Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков, Д. О. Рогожин и др. // Земледелие. 2018. № 8. С. 14–16.

12. Почвы Башкортостана. Т. 1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / Ф. Х. Хазиев, А. Х. Мукатанов, И. К. Хабиров и др. Уфа: Гилем, 1995. С. 309–310.

Impact of Resource-Saving Treatments on Agro-physical Properties of Ordinary Chernozem and Yield of Spring Wheat in the Foothills Steppe of the Southern Urals

Ya. Z. Kaipov, R. L. Akchurin, Z. R. Sultangazin, A. H. Shakirzyanov

Bashkiria Research Agricultural Institute, Ufa Federal Research Center, RAS, ul. R. Zorge, 19, Ufa, 450059, Russian Federation

Abstract. *The purpose of the work was to identify a method of soil cultivation that provides resource-saving and stable crop yields in the arid steppe of the Southern Urals. The studies were carried out in 2017–2018 in the eastern foothills of the steppe of the Southern Urals in the Republic of Bashkortostan. The soil was ordinary chernozem. The climate was arid. The annual rainfall was 330 mm. The design of the experiment design had the following options: moldboard processing at the depth of 23–25 cm (the control); subsurface processing at 27–30 cm; surface treatment at 10–12 cm; zero treatment (direct sowing). The years of the research were more arid, compared with the long-term average data. We used generally accepted methods for determining the agro-physical properties of the soil. The content of agronomically valuable structural soil aggregates in the arable layer was 79–82% with a tendency to increase in the cases of surface and zero tillage. In the soil of these options, a higher structural coefficient was noted. The least soil density in the 0–30 cm soil layer (1.15 g/cm3) was established at moldboard cultivation, and the densest soil was at the surface and zero tillage (1.19 and 1.20 g/cm3). Such composition of the soil contributed to the difference in the water regime. Higher content of productive moisture in a meter layer of soil before sowing (135–140 mm) was noted in the variants of zero, surface and subsurface treatments, in comparison with the moldboard cultivation. Moisture supply affected differences in spring wheat grain yield. The highest yield in the experiment was recorded in the variant with surface treatment – 1.78 t/ha. The yield of 1.76 t/ha was obtained in the subsurface and zero treatments, which was slightly higher than the control (1.73 t/ha). The greatest resource-saving was provided by surface and zero processing, reducing production costs by 16 and 22%. To reduce material and labour costs and to increase the yield of grain crops, it is necessary to apply surface and zero treatment of ordinary chernozems.*

Keywords: *ordinary chernozems; resource-saving tillage; agro-physical properties; spring wheat; productivity.*

Author Detailis: *Ya. Z. Kaipov, D. Sc. (Agr.), head of laboratory (e-mail: akaipov@mail.ru); R. L. Akchurin, Cand. Sc. (Agr.), head of division (e-mail: rifkat-61@rambler.ru); Z. R. Sultangazin, Cand. Sc. (Agr.), research fellow (e-mail: zufar-75@mail.ru); A. H. Shakirzyanov, D. Sc. (Agr.), senior research fellow.*

For citation: *Kaipov YaZ, Akchurin RL, Sultangazin ZR, et al. [Impact of resource-saving treatments on agro-physical properties of ordinary chernozem and yield of spring wheat in the foothills steppe of the Southern Urals]. Zemledelie. 2020;(1):40-3. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10111.*

doi: 10.24411/0044-3913-2020-10112
УДК: 633.13: 631.51: 631.82: 632.934

Отзывчивость овса на удобрения в зависимости от обработки почвы и уровня защиты культур полевого севооборота в лесостепи Алтайского Приобья

С. В. УСЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: aniish@mail.ru)
В. И. УСЕНКО, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
А. А. ГАРКУША, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Т. А. ЛИТВИНЦЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
А. А. ЩЕРБАКОВА, научный сотрудник
Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, пос. Научный городок, 35, Барнаул, 656910, Российская Федерация

Реакцию овса на удобрения, пестициды и приемы обработки почвы изучали в 2011–2019 гг. в Алтайском крае в полевом севообороте. Схема опыта предусматривала следующие варианты: приёмы основной обработки почвы (фактор А) – глубокая (25...27 см) плоскорезная; мелкая (14...16 см) плоскорезная; без обработки; удобрения (фактор В) – 0; P_{25}; $N_{40}P_{25}$; пестициды (фактор С) – 0; дикотициды; дикотициды + последействие граминицидов; гербициды + инсектициды + фунгициды. Почва – чернозём выщелоченный среднесуглинистый, содержание гумуса – 3,8 %, подвижного (по Чирикову) фосфора и калия – соответственно 200 и 180 мг/кг. На фонах с глубокой, мелкой и нулевой обработками ранневесенние запасы влаги в метровом слое почвы увеличивались, в сравнении с осенними, на 77, 51 и 36 мм (91, 65 и 42 %), а к всходам овса снижались на 87, 69 и 67 мм (42, 39 и 40 %), по сравнению с ранневесенними. Благодаря обработкам в почве накапливалось на 38...40 % больше нитратного азота, но мало менялось содержание фосфора и калия. При переходе от глубокой к мелкой плоскорезной обработке урожайность овса изменялась незначительно с 1,69 до 1,64 т/га, а к нулевой – снижалась до 1,36 т/га. Внесение P_{25} повышало сбор зерна овса на 0,08...0,18 т/га, $N_{40}P_{25}$ – на 0,28...0,41 т/га. Применение дикотицида увеличивало зерновую продуктивность посевов на 0,18...0,19 т/га, дикотицида на фоне последействия граминицида – на 0,26...0,30 т/га, комплекса пестицидов – на 0,45...0,48 т/га (24,2...30,3 %). Совместное использование удобрений и пестицидов не изменяло эффективность фосфорных, но повышало отдачу от азотных туков, обеспечивало увеличение продуктивности культуры на фоне глубокой обработки почвы в среднем на 0,82 т/га (48,5 %), мелкой – на 0,81 т/га (49,4 %), нулевой – на 0,91 т/га (66,9 %), по отношению к вариантам без средств интенсификации.

Ключевые слова: *овес (Avena sativa L.), приём основной обработки почвы, No-till технология, удобрения, средства защиты растений, урожайность, окупаемость удобрений.*

Для цитирования: *Отзывчивость овса на удобрения в зависимости от обработки почвы и уровня защиты культур полевого севооборота в лесостепи Алтайского Приобья / С. В. Усенко, В. И. Усенко, А. А. Гаркуша и др. // Земледелие. 2020. № 1. С. 44–48. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10112.*

Овес (*Avena sativa* L.) – наиболее распространенная в регионах с умеренно прохладным климатом зерно-фуражная культура, выполняющая важную продукционную и средообразующую роль [1, 2, 3].

В годы реформирования аграрного сектора страны площади посевов зерновых культур сократились с 75,5 до 45,3 млн га, или в 1,7 раза. При этом наиболее значительно уменьшились площади посевов овса (с 9,9 до 3,2 млн га, или в 3,1 раза), в то время как под пшеницей увеличились на 6,2 % [4].

Несмотря на то, что внимание и ресурсы «достаются» овсу чаще всего по остаточному принципу, потенциал его продуктивности намного превосходит возможности яровой пшеницы [1]. По данным Росстата, в Алтайском крае в среднем за 2014–2018 гг. урожайность овса была на 26,7 % выше, чем пшеницы. Аналогичные различия в продуктивности этих культур в крае отмечали и в советские годы [5]. Овес хорошо отзывается как на агротехнические приемы, так и на применение удобрений [6, 7].

Удобрения рассматриваются не только как средство регулирования круговорота веществ в агроландшафтах, но и как системообразующий фактор при формировании систем земледелия. Минеральные удобрения, особенно азотные, играют решающую роль при минимизации обработки почвы [8].

Цель работы – изучить отзывчивость овса на удобрения в зависимости от приемов основной обработки выщелоченного чернозема и уровня защиты от вредных организмов культур полевого севооборота в лесостепи Алтайского Приобья.

Исследования проводили в 2011–2019 гг. на опытном поле ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» в стационарном полевом опыте в условиях лесостепи Алтайского Приобья. В различные годы высевали сорта овса Аргумент и Корифей алтайской селекции.

Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов:

прием основной обработки почвы (фактор А) – глубокая (на 25...27 см) плоскорезная (ГПО); мелкая (на 14...16 см) плоскорезная (МПО); без основной обработки (БО);

удобрения (фактор В) – без удобрений (0); P_{25} в рядки при посеве; N_{40} до посева + P_{25} в рядки при посеве ($N_{40}P_{25}$);

средства защиты растений (фактор С) – без средств защиты растений (0); гербициды против широколистных сорняков (Г-1); гербициды против широколистных и последействие гербицидов против злаковых сорняков (Г-2); гербициды против широколистных и последействие гербицидов против злаковых сорняков, инсектициды и фунгициды (ГИФ).

Опыт заложен на склоне крутизной 1...2° юго-восточной экспозиции. Севооборот – пар чистый (на фоне без основной обработки почвы – рапс на маслосемена) – пшеница – овес – пшеница – горох – пшеница, развернут во времени и в пространстве всеми полями.

Площадь опытных делянок последнего порядка 116...255 м^2. Расположение делянок систематическое, повторность трехкратная. Наблюдения, учеты и исследования в опыте выполняли общепринятыми методами, полученные результаты подвергали дисперсионному и корреляционному анализу [9].

Агротехника в опыте на фонах с основной обработкой почвы предусматривала после уборки предшественника поверхностную обработку легкой дисковой бороной на глубину 3...4 см, в октябре – основную обработку согласно схеме, весной, при достижении почвой физической спелости, – боронование, локальное внесение азотных удобрений сеялкой СЗС-2,1, предпосевную культивацию, посев (во второй – начале третьей декады мая) сеялкой СЗ-3,6. На фоне без основной обработки почвы осенью после уборки предшественника и/или весной до посева осуществляли опрыскивание гербицидом сплошно-

го действия, весной перед посевом в соответствующих вариантах внесение азотных удобрений локально сеялкой прямого посева (с дисковыми сошниками) Semeato TDNG 420. Этой же сеялкой проводили посев. На всех фонах высевали по 4,5 млн всхожих семян на 1 га, с рядковым внесением фосфорных удобрений и последующим прикатыванием.

Из минеральных удобрений использовали аммиачную селитру и двойной гранулированный суперфосфат (с 2016 г. – аммофос). Средства защиты растений в севообороте применяли в соответствии со схемой опыта и особенностями культур.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный среднесуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 3,80 %, общего азота – 0,23 %, подвижных соединений фосфора и калия по Чирикову – 200 и 180 мг/кг почвы соответственно. Реакция среды – близкая к нейтральной ($pH_{сол.}$ 6,15).

Лесостепь Алтайского Приобья – теплый недостаточно увлажненный район с дефицитом осадков в первой и повышенным их количеством во второй половине лета. Средняя многолетняя сумма осадков за сельскохозяйственный год – 409 мм, из них в осенний (сентябрь–октябрь) период выпадает 70 мм, в зимний (ноябрь–март) – 112, в весенний (апрель–май) – 67, в летний (июнь–август) – 160 мм, в том числе в июне – 47 мм, июле – 64, августе – 49 мм.

Сумма осадков за год в период проведения исследований варьировала от 317...339 мм в 2012 и 2019 гг. до 549...556 мм в 2013 и 2017 гг., а положительных температур за апрель–август – от 2087...2127 °С в 2013 и 2018 гг. до 2378...2528 °С в 2016 и 2012 гг. при среднем многолетнем значении 2161 °С.

Среднее в годы исследований количество осадков за осенний период составило 80 мм (от 47...58 мм в 2011 и 2012 гг. до 139 мм в 2015 г.), зимний – 132 мм (от 71 мм в 2012 г. до 190 мм в 2013 г.), весенний – 71 мм (от 37...46 мм в 2012 и 2019 гг. до 92...118 мм в 2013 и 2018 гг.).

За летний период (июнь–август) среднее количество осадков было равно 162 мм с варьированием от 108...114 мм в 2011 и 2018 гг. до 193...240 мм в 2014 и 2017 гг. и неравномерным их распределением по месяцам. Так, в июне наибольшее количество осадков (62 мм, или 132 % от нормы) отмечено в 2018 г., наименьшее (10 мм, или 21 %) в 2012 г. В июле самое высокое количество осадков (138 мм, или 216%) зафиксировано в 2017 г., самое низкое (41...42 мм, или 64...66 %) – в 2011, 2018 и 2019 гг. Наиболее дождливый август (63 мм, или 129 %) выдался в 2013 г., а самый сухой (12 мм, или 24 %) – в 2018 г. С учетом предшествующего увлажнения условия в годы исследований изменялись от умеренно увлажненных с коэффициентом увлажнения 1,10 в 2013 г. и 1,03 в 2017 г. до умеренно дефицитных (0,81...0,87) в 2014, 2015, 2016 и 2018 гг., дефицитных (0,61...0,64) в 2011 и 2019 г. и остродефицитных (0,55) в 2012 г.

Наблюдения за водным режимом показали, что в среднем за 2011–2019 гг. запасы продуктивной влаги в выщелоченном черноземе осенью перед уходом в зиму не зависели от приема основной обработки и составляли в метровом слое 79...85 мм, в том числе в верхнем полуметре – 53...57 мм, в нижнем – 26...29 мм, или 66...67 и 33...34 % от общих запасов (рис. 1).

Зимние осадки – главный источник пополнения запасов влаги в почве после непаровых предшественников. В среднем за 2011–2019 гг. их сумма с учетом апреля составила 156 мм при варьировании от 84 мм (2012 г.) до 204 мм (2013 г.). Размеры аккумуляции влаги в почве зависели от приема обработки. Весной после схода снега запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы возрастали, по отношению к осенним, на фоне глубокой плоскорезной обработки на 77 мм (90,6 %), мелкой – на 51 мм (64,6 %), нулевой – на 36 мм (42,4 %), составив

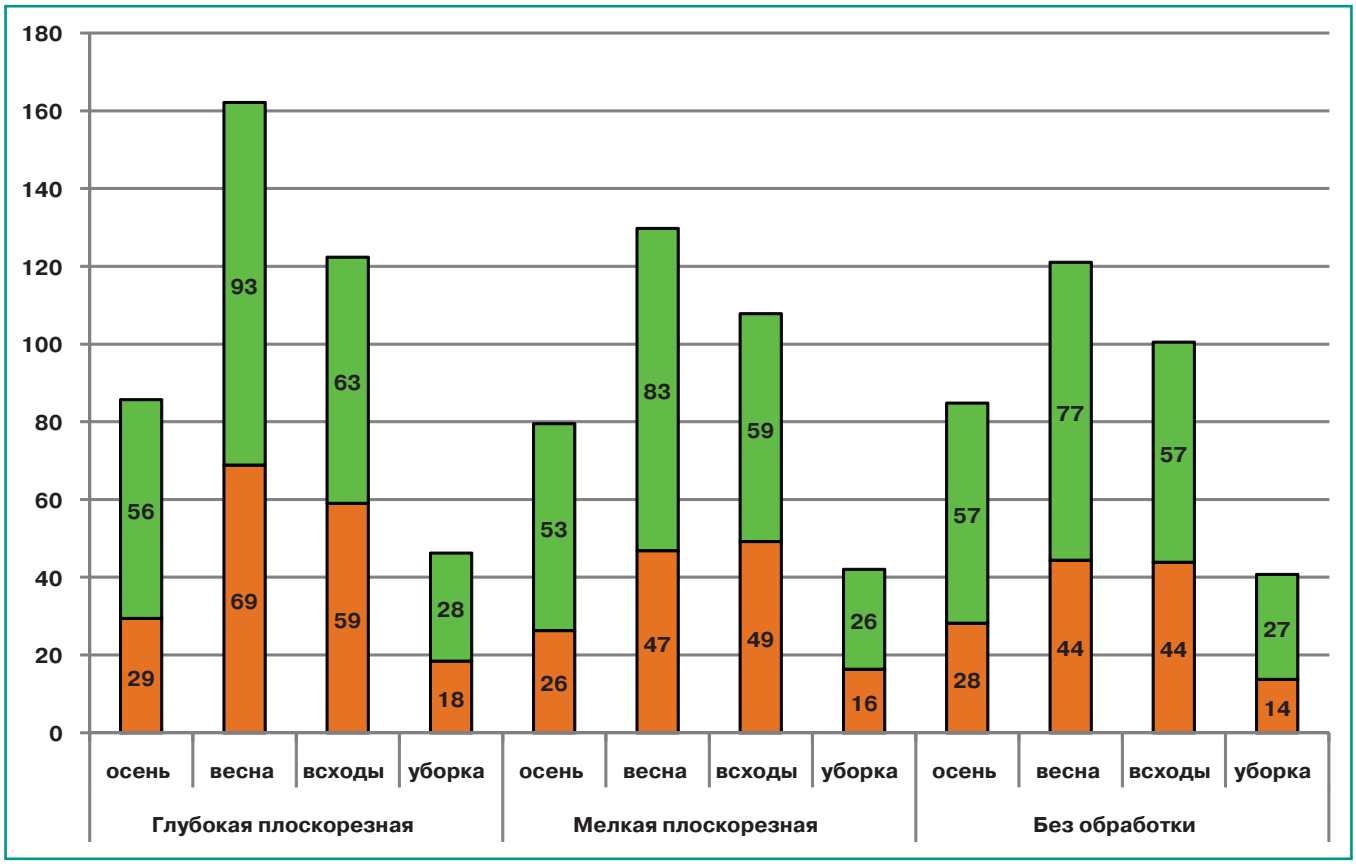


Рис. 1. Сезонная динамика запасов продуктивной влаги в почве при возделывании овса в зависимости от основной обработки (2011–2019 гг.), мм: ■ – 0–50 см; ■ – 50–100 см.

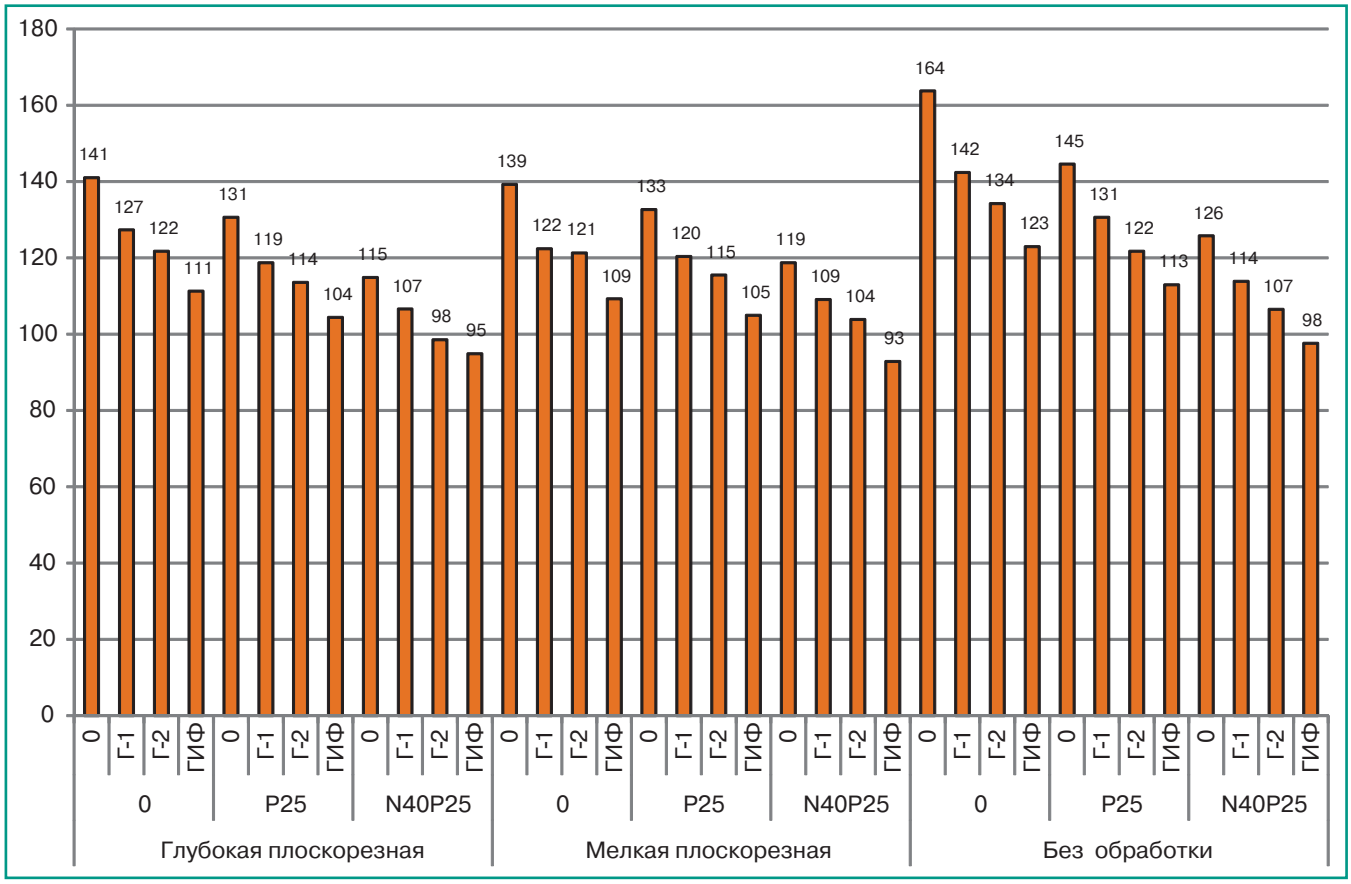


Рис. 2. *Удельное водопотребление овсом в зависимости от приема основной обработки почвы, удобрений и средств защиты растений (2011–2019 гг.), мм/*т.

соответственно 162, 130 и 121 мм. В верхнем полуметре прирост запасов продуктивной влаги при снижении интенсивности обработки почвы уменьшался с 37 мм (66,1 %) на фоне глубокой до 30 мм (56,6 %) после мелкой и 20 мм (35,1 %) на фоне нулевой. В нижнем полуметре изменение запасов влаги под влиянием обработок было еще более значительным – их прирост после глубокой обработки составил 40 мм (137,9 %), на фоне мелкой – 21 мм (80,8 %), нулевой – 16 мм (57,1 %). Коэффициент использования зимних осадков почвой после глубокой плоскорезной обработки составил 0,49, на фоне мелкой – 0,33, нулевой – 0,23.

Весной после схода снега до начала вегетации овса происходит интенсивное испарение влаги из почвы и ее запасы снижаются. В нашем опыте к всходам овса они уменьшились в метровом слое на фоне глубокой плоскорезной обработки до 122 мм, на фоне мелкой – до 108 мм, на фоне нулевой – до 101 мм, или соответственно на 40, 22 и 20 мм (24,7, 16,9 и 16,5 %), по отношению к величине этого показателя ранней весной. С учетом текущих осадков (в среднем за 9 лет 47 мм) потери влаги на испарение на фоне глубокой плоскорезной обработки составили 87 мм (41,6 %), после мелкой – 69 мм (39,0 %), нулевой – 67 мм (39,9 %), то есть снижались с уменьшением интенсивности основной обработки почвы.

Тем не менее, преимущество глубокой обработки над мелкой по запасам влаги в метровом слое составляло 14 мм (13,0 %), а над нулевой – 21 мм (20,8 %) и было обусловлено в основном изменениями в нижнем полуметре почвы. Если в слое 0...50 см на фоне глубокой обработки они составляли 63 мм и были выше, чем после мелкой (59 мм), только на 4 мм (6,8 %), а в сравнении с нулевой (57 мм), на 6 мм (10,5 %), то в слое 50...100 см преимущество глубокой основной обработки над мелкой и нулевой достигало 10 и 15 мм, или 20,4 и 34,1 % соответственно.

К уборке запасы влаги в почве снижались, по отношению к уровню в период всходов, в соответствии со степенью влияния изучаемых факторов на рост и развитие овса, которые, в свою очередь, определяли расход влаги на формирование урожая.

За летний период в среднем за годы исследований выпало 162 мм осадков, а общее водопотребление изменялось от 238 мм на фонах с глубокой до 228 мм с мелкой обработкой и до 222 мм на необрабатываемом фоне, что согласуется с формируемым уровнем урожайности культуры. Величину коэффициента удельного водопотребления определяла степень влияния изучаемых факторов на урожайность овса. Без применения средств интенсификации основная обработка почвы обеспечивала более эффективное использование влаги культурой – коэффициент водопотребления составлял 139...141 мм/т против 164 мм/т на необработанном фоне, или на 16,3...18,0 % выше (рис. 2).

Применение фосфорных и особенно азотно-фосфорных удобрений обеспечивало существенное снижение величины этого показателя на фоне основных обработок до 131...133 и 115...119 мм/т, или на 4,3...7,1 и 14,4...18,4 % по отношению к неудобренным вариантам. При прямом посеве удобрения обеспечивали более значительное (на 11,6 и 23,2 %) снижение удельного водопотребления, однако оно все равно оставалось более высоким – 145 и 126 мм/т. Величина этого показателя выравнивалась на всех фонах обработки, достигая 93...98 мм/т, только при совместном использовании азотно-фосфорных удобрений и комплекса средств защиты растений. Благодаря применению средств интенсификации на фоне глубокой и мелкой плоскорезных обработок водопотребление уменьшалось в 1,5 раза, а без обработки – в 1,7 раза.

Урожайность зерна овса в зависимости от обработки почвы, средств защиты растений и удобрений (средняя за 2011–2019 гг.), т/га

Обработка (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Средства защиты растений (фактор С)				
		0	Г-1	Г-2	ГИФ	средняя
ГПО	0	1,69	1,87	1,95	2,14	1,91
	P_{25}	1,82	2,00	2,10	2,28	2,05
	$N_{40}P_{25}$	2,07	2,23	2,42	2,51	2,31
	Среднее	1,86	2,04	2,16	2,31	2,09
МПО	0	1,64	1,86	1,88	2,09	1,87
	P_{25}	1,72	1,89	1,97	2,17	1,94
	$N_{40}P_{25}$	1,92	2,09	2,20	2,45	2,17
	Среднее	1,76	1,95	2,02	2,24	1,99
БО	0	1,36	1,56	1,65	1,81	1,59
	P_{25}	1,54	1,70	1,82	1,97	1,76
	$N_{40}P_{25}$	1,77	1,95	2,08	2,27	2,02
	Среднее	1,55	1,74	1,85	2,02	1,79
Среднее	0	1,56	1,76	1,83	2,01	1,79
	P_{25}	1,69	1,87	1,96	2,14	1,92
	$N_{40}P_{25}$	1,92	2,09	2,23	2,41	2,16
	Среднее	1,72	1,91	2,01	2,19	1,96
$НСР_{05}$ А–0,05; В–0,05; С–0,06; АВ – 0,09; ВС – 0,10; АС – 0,10; АВС – 0,18; Доля влияния, %: А – 22,8; В – 34,9; С – 40,9; АВ, АС, ВС, АВС – 0,2...0,7 %						

Основная обработка почвы заметно отражалась на азотном режиме – без применения удобрений запасы нитратного азота в слое 0...100 см на фоне глубокой плоскорезной обработки в период всходов культуры в среднем за годы исследований составляли 79,6, после мелкой плоскорезной – 78,4, а на необработанном фоне – 56,9 кг/га. Содержание подвижного фосфора и калия в почве по Чирикову было очень высоким и высоким (соответственно 190...207 и 176...184 мг/кг в слое 0...20 см) и мало зависело от приема обработки почвы.

Урожайность зерна овса в среднем за годы исследований составила 1,96 т/га, варьируя от 0,37 т/га в засушливом 2012 г. до 2,91 т/га в умеренно увлажненном 2017 г. (см. табл.). Она находилась в сильной положительной связи с суммой осадков за год (r = 0,66) и в сильной обратной – с температурой июля–августа (r = -0,68). Зависимость урожайности овса от годовой суммы осадков усиливалась по мере минимализации обработки почвы от глубокой (r = 0,61) к мелкой (r = 0,66) плоскорезной и необработанному фону (r = 0,68), а также по мере насыщения средствами защиты растений от фонов без их использования (r = 0,57...0,67) до фонов с комплексом средств защиты растений (r = 0,64...0,70), но ослабевала при насыщении технологии удобрениями от 0,62...0,70 в контроле без удобрений до 0,61...0,69 на фоне внесения P_{25} и до 0,58...0,65 в варианте с $N_{40}P_{25}$.

Варьирование урожайности овса в опыте обусловлено действием всех изучаемых факторов – доля влияния обработки почвы составляла 22,8 %, удобрений – 34,9 %, средств защиты – 40,9 % при слабом вкладе их взаимодействия. Без применения средств интенсификации наибольшая в опыте средняя урожайность овса отмечена на фоне глубокой плоскорезной обработки – 1,69 т/га. При уменьшении ее глубины сбор зерна культуры снижался незначительно – до 1,64 т/га, или на 0,05 т/га (3,0 %), а при переходе на прямой посев – до 1,36 т/га, или на 0,28...0,33 т/га (17,1...19,5 %), по отношению к мелкой и глубокой плоскорезным обработкам.

Эффективность минимизации основной обработки (преимущество мелкой плоскорезной основной обработки по отношению к глубокой) находилась в средней положительной связи с суммой осадков осеннего периода (r = 0,63), усиливающейся на фоне гербицидов и удобрений (r = 0,68...0,70), а эффективность отказа от основной обработки – в сильной отрицательной связи с температурой предшествующего ноября (r = -0,73), ослабевавшей по мере насыщения средствами защиты растений с 0,81 до 0,73, 0,63 и 0,62.

Припосевное фосфорное удобрение (P_{25}) без применения средств защиты растений обеспечивало повышение урожайности овса на 0,08...0,18 т/га (4,9...13,2 %), по отношению к неудобренному контролю, при окупаемости фосфора удобрения дополнительным сбором зерна 3,2...5,2 кг/кг на фоне плоскорезных обработок и 7,2 кг/кг при прямом посеве.

В результате корреляционного анализа для фонов с глубокой плоскорезной обработкой установлена сильная отрицательная связь эффективности рядкового фосфорного удобрения с суммами осадков за год (r = -0,67) и сентябрь (r = -0,66), а также сильная положительная – со средними температурами в марте (r = 0,74) и апреле (r = 0,69). Для фонов с мелкой плоскорезной обработкой установлена сильная положительная связь с суммами осадков за декабрь (r = 0,73...0,84), апрель (r = 0,69), июнь (r = 0,71), температурами февраля (r = 0,71...0,73), а также сильная отрицательная – с температурами июля и августа (r = -0,66...-0,74). Для нулевых фонов установлена сильная положительная связь с суммами осадков за декабрь (r = 0,74...0,80) и февраль (r = 0,73), температурами декабря (r = 0,62...0,82), февраля (r = 0,66), года (r = 0,65...0,70), средней температурой зимнего периода (r = 0,74...0,81).

Добавление к припосевному фосфорному удобрению основного азотного (N_{40}) обеспечивало увеличение урожайности овса на 0,28...0,41 т/га (17,1...30,1 %) при окупаемости туков прибавкой от 4,3 до 6,3 кг/кг. Для фонов с глубокой плоскорезной обработкой отмечена сильная положительная связь эффективности азотно-фосфорных удобрений с температурами марта (r = 0,67...0,85) и ГТК июня (r = 0,68), для фонов с мелкой обработкой почвы – сильная положительная с осадками декабря (r = 0,76), температурой марта (r = 0,74) и ГТК июня–июля (r = 0,77) и сильная отрицательная – с температурой ноября (r = -0,69), для нулевого фона – сильная положительная связь с температурами декабря (r = 0,80) и февраля (r = 0,77), средней температурой зимнего периода (r = 0,66...0,78) и ГТК июня–июля (r = 0,63...0,77).

Непосредственно от азотных удобрений урожайность овса увеличивалась на 0,20...0,25 т/га (11,6...13,7 %), независимо от фона обработки почвы, при окупаемости действующего вещества прибавкой урожая 5,0...5,8 кг/кг. Эффективность азотных удобрений на всех фонах основной обработки имела сильную положительную связь с температурой марта (r = 0,69...0,75).

Насыщение технологии возделывания овса средствами защиты растений в опыте не оказывало существенного влияния на эффективность рядкового фосфорного удобрения, однако обеспечивало заметное повышение величины и устойчивости прибавки урожая от основного азотного удобрения.

Так, снятие конкуренции по широколистным сорнякам при обработке дикотицидом обеспечивало увеличение зерновой продуктивности посевов в среднем по опыту на 0,19 т/га (11,0 %), по широколистным и злаковым сорнякам при обработке дикотицидом и последействии примененного в других полях севооборота граминицида – на 0,29 т/га (16,9 %), а по всему спектру вредных организмов при использовании полного комплекса средств защиты растений – на 0,47 т/га (27,3 %). Эффективность, как отдельных защитных мероприятий, так и всего их комплекса находилась в сильной положительной связи с годовой суммой осадков (r = 0,69), а также с осадками осеннего (r = 0,65...0,71),

зимнего (r = 0,67...0,78) и весеннего (r = 0,68) периодов.

Таким образом, основная обработка не изменяла влагообеспеченность выщелоченного чернозема перед уходом в зиму, но в 1,4...2,1 раза повышала эффективность использования зимних осадков почвой – при сходе снега весной запасы продуктивной влаги в метровом слое увеличивались на фоне глубокой обработки на 77 мм (90,6 %), мелкой – на 51 мм (64,6 %), нулевой – на 36 мм (42,4 %), по отношению к осенним запасам, до 162, 130 и 121 мм соответственно при коэффициенте использования зимних осадков 0,49, 0,33 и 0,23. За весну от схода снега до начала вегетации овса с учетом текущих осадков из почвы испарялось на фоне глубокой обработки 87 мм (41,6 %), мелкой – 69 мм (39,0 %), нулевой – 67 мм (39,9 %) влаги, а ее запасы в метровом слое снижались соответственно до 122, 108 и 101 мм. Расход влаги на формирование урожая овса без средств интенсификации при прямом посеве был значительно выше, чем при традиционных обработках (164 против 139...141 мм/т), а на фоне удобрений и пестицидов выравнивался на всех фонах до 93...98 мм/т. При традиционных обработках в метровом слое почвы накапливалось на 38...40 % больше нитратного азота, чем на необработанном фоне, при отсутствии различий по обеспеченности почвы подвижным фосфором и калием.

Урожайность овса находилась в сильной прямой связи с суммой осадков за год (r = 0,66), которая усиливалась с минимизацией обработки почвы (от 0,61 до 0,68) и насыщением технологии пестицидами (от 0,57...0,67 до 0,64...0,70), но ослабевала при насыщении удобрениями (от 0,62...0,70 до 0,58...0,65).

На экстенсивном фоне наибольшая в опыте урожайность овса (1,69 т/га) отмечена на фоне глубокой плоскорезной обработки. При переходе к мелкой она снижалась незначительно (на 0,05 т/га, или на 3,0 %), а к прямому посеву – на 0,33 т/га (19,5 %), по отношению к глубокой обработке.

Внесение P_{25} при посеве повышало урожайность овса на 0,08...0,18 т/га (4,9...13,2 %) при окупаемости дополнительным сбором зерна 3,2...7,2 кг/кг. Применение $N_{40}P_{25}$ обеспечивало увеличение урожайности зерна овса на 0,28...0,41 т/га (17,1...30,1 %) при окупаемости туков прибавкой 4,3...6,3 кг/кг. Эффективность азотных удобрений на всех фонах обработки почвы имела сильную положительную связь с температурой марта (r = 0,69...0,75).

Применение дикотицида обеспечивало увеличение продуктивности овса на 0,18...0,19 т/га (9,7...12,3 %), дикотицида на фоне последействия граминицида – на 0,26...0,30 т/га (14,8...19,4 %), а комплекса пестицидов – на 0,45...0,48 т/га (24,2...30,3 %). Прибавки урожая от их использования находились в сильной прямой связи с суммой осадков за год (r = 0,69), осень (r = 0,65...0,71), зиму (r = 0,67...0,78) или весну (r = 0,68).

Совместное применение удобрений и пестицидов обеспечивало увеличение зерновой продуктивности культуры на фоне глубокой обработки почвы в среднем на 0,82 т/га (48,5 %), после мелкой – на 0,81 т/га (49,4 %), при прямом посеве – на 0,91 т/га (66,9 %), по отношению к вариантам без средств интенсификации.

Литература.

1. Жученко А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика). М.: ООО «Издательство Агрорус», 2004. 1009 с.
2. Средообразующая роль фитосанитарных культур, возделываемых по No-till технологии, в севооборотах / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко, П. И. Кудашкин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 6. С. 5–9.
3. Юсова О. А. Качество зерна овса в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 12. С. 32–35.
4. Захаренко В. А. Экономическая целесообразность системы защиты зерновых культур в России // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 5–8.
5. Система ведения сельского хозяйства Алтайского края: Рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. Новосибирск: РПО СО ВАСХНИЛ. 1988. 222 с.
6. Уланов А. К., Будажапов Л. В., Билтуев А. С. Экономическая оценка возделывания полевых культур в земледелии сухой степи Забайкалья // Земледелие. 2019. № 2. С. 27–30.
7. Влияние технологических приёмов на структуру урожая овса / Ю. И. Митрофанов, Л. В. Пугачева, Н. А. Смирнова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 5. С. 26–29.
8. Кирюшин В. И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // Земледелие. 2019. № 3. С.3–7.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

Responsiveness of Oats to Fertilizers Depending on Soil Tillage and the Level of Plants Protection in a Field Crop Rotation in the Forest-Steppe of the Altai Ob Region

S. V. Usenko, V. I. Usenko, A. A. Garkusha, T. A. Litvintseva, A. A. Shcherbakova

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Nauchnyi gorodok, 35, Barnaul, 656910, Russian Federation

Abstract. *The reaction of oats to fertilizers, pesticides and tillage methods was studied in 2011–2019 in the Altai Krai in a field crop rotation. The design of the experiment included the following factors: methods of primary tillage (factor A), fertilizers (factor B), pesticides (factor C). Tillage methods included deep (25–27 cm) and shallow (14–16 cm) subsurface cultivation, and zero tillage. Factor B included the variant without fertilizers, P25, and N40P25. By factor C, we studied the following options: without pesticides; dicotycides; dicotycides + aftereffect of graminicides; herbicides + insecticides + fungicides. The soil was medium loamy leached chernozem; the humus content was 3.8%; the content of mobile phosphorus and potassium (according to Chirikov) was 200 and 180 mg/kg. Against the backgrounds of deep, shallow and zero tillage, the early spring moisture reserves in the meter soil layer increased, compared to the autumn ones, by 77, 51 and 36 mm (91, 65 and 42%), and by the appearance of oats seedlings it decreased by 87, 69 and 67 mm (42, 39 and 40%), compared with early spring reserves. Due to the cultivation, the supply of nitrate nitrogen in the soil increased by 38–40%; the content of phosphorus and potassium did not change much. When replacing the deep subsurface cultivation with the shallow one, the oats yield changed slightly from 1.69 t/ha to 1.64 t/ha, and with zero one it decreased to 1.36 t/ha. The application of P25 increased the yield of oat grain by 0.08–0.18 t/ha, of N40P25 – by 0.28–0.41 t/ha. The use of dicotycide increased grain productivity of crops by 0.18–0.19 t/ha, of dicotycide against the background of the aftereffect of graminicide – by 0.26–0.30 t/ha. The application of the pesticide complex increased the yield by 0.45–0.48 t/ha (24.2–30.3%). The combined use of fertilizers and pesticides did not change the effectiveness of phosphorus, but increased the return on nitrogen fertilizers, ensured an increase in crop productivity against the background of deep tillage on average by 0.82 t/ha (48.5%), of shallow tillage – by 0.81 t/ha (49.4%), of zero tillage – by 0.91 t/ha (66.9%), in relation to the options without means of intensification.*

Keywords: *oats (Avena sativa L.); primary tillage method; no-till technology; fertilizers; plant protection means; yield; recoupment of fertilizers.*

Author details: *S. V. Usenko, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow(e-mail: anish@mail.ru); V. I. Usenko, D. Sc. (Agr.), chief research fellow; A. A. Garkusha, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow; T. A. Litvintseva, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; A. A. Shcherbakova, research fellow.*

For citation: *Usenko SV, Usenko SV, Garkusha AA, et al. [Responsiveness of oats to fertilizers depending on soil tillage and the level of plants protection in a field crop rotation in the forest-steppe of the Altai Ob Region]. Zemledelie. 2020;(1):44-8. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10112.*

ГИБРИДЫ ПРЕМИУМ

Царица полей

TROPICAL DENT®
Exclusive to Euralis Semences

ФАО 320

ЕС ФАРАДЕЙ

РАСКРОЕТ ПОТЕНЦИАЛ ВАШЕГО ПОЛЯ

- толерантен к стрессовым условиям
- быстрый старт на начальном этапе развития
- растение stay - green
- высокий урожай зерна

ФАО 200

ЕС СИРРИУС

ПЛАСТИЧНЫЙ ГИБРИД С УЛЬТРАБЫСТРОЙ ОТДАЧЕЙ ВЛАГИ

- высокий урожай зерна
- засухоустойчивость
- быстрая отдача влаги зерном
- устойчивость к полеганию
- высокое содержание крахмала.

ФАО 260

ЕС КРЕАТИВ

ЛУЧШЕЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ

- отличный и стабильный урожай зерна в засушливых условиях
- высокая устойчивость к полеганию
- хорошая устойчивость к пузырчатой головне
- высокий компенсационный эффект

www.euralis.ru

EURALIS
Creating seeds and trust

С нами расти легче.
С нами растут заводы

Компания «Август» понимает ответственность лидера рынка ХСЗР перед страной и отраслью и вкладывает средства для их развития.

«Август» создал мощную производственную базу, в которую входят три завода – в Татарстане, Чувашии и Беларуси.

Ультрасовременный завод «Август-Алабуга» в ОЭЗ «Алабуга» в Татарстане способен обеспечить продукцией треть российского рынка ХСЗР, емкость которого составляет 160 тыс. т препаратов в год.

4 млрд руб.
размер собственных вложений

50 млн л
готовой продукции

8 млн
канистр полимерной упаковки в год

40 видов
ХСЗР всех формуляций (кроме гранул и смачивающихся порошков)

С нами расти легче. С нами растет страна.
avgust 30 лет

avgust.com

ISSN 0044-3913. Земледелие. 2020. № 1.1 - 48. Индекс 70329.