

УДК 631.559:633.1

АНАЛИЗ ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ МЕЖГОДОВОЙ ВАРИАЦИИ ИХ УРОЖАЙНОСТИ

© 2024 г. А. А. Конищев^{1,*}, И. И. Гарифуллин¹, Е. Н. Конищева²¹Ивановский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Верхневолжского ФАНЦ 153506 с. Богородское, Ивановская обл., Ивановский р-н, ул. Центральная, 2, Россия²Верхневолжский агробиотехнологический университет 153012 Иваново, ул. Советская, 45, Россия

*E-mail: aleksei.konishev2010@yandex.ru

Научные наблюдения за ростом и продуктивностью зерновых культур проводят в мире уже более 100 лет. Установлено, что продуктивность растений в первую очередь зависит от количества питательных веществ в почве, эффективность использования которых зависит от применяемых сортов, агротехники их возделывания и погодных условий. Постоянно увеличивающаяся потребность в продуктах питания привела к форсированному применению питательных элементов и созданию более требовательных к условиям развития сортов растений. Одновременно индустриальное развитие планеты привело к изменениям климата, снижающим своим воздействием на урожайность многие предшествующие достижения сельскохозяйственной науки и практики. Влияние элементов питания на урожайность с 50–60% в годовом масштабе снижается до 20–30% при многолетнем рассмотрении. Зависимость урожайности современных сортов от погодных условий составляет 30–80%. Снизить ее зависимость от погодных условий путем повышения плодородия почвы можно, понимая при этом под плодородием не столько насыщение почвы питательными элементами, сколько комплекс мероприятий, в том числе и агрофизических, направленных на управляемое воздействие на почву с целью создания оптимального водно-воздушного режима, т.к. одним из основных направлений влияния погоды на продуктивность растений является изменение влагообеспеченности растений. В отдельности каждый из традиционных факторов повышения урожайности для снижения зависимости от погодных условий оказывается малоэффективным.

Ключевые слова: плодородие почвы, минеральные и органические удобрения, сорта растений, урожайность, зависимость урожайности от погодных условий.

DOI: 10.31857/S0002188124020118

ВВЕДЕНИЕ

Опыт развития земледелия в мире показывает, что в начале XX века Европа пошла по пути расширенного применения минеральных удобрений, а в США основное внимание уделили развитию механизации. В результате в Германии и Голландии в 1920-х гг. вносили минеральных удобрений на 1 га в 6 раз больше, чем в США, где уровень обеспеченности тракторами был в 10 раз выше, чем в Германии и Голландии. При этом урожайность в США составляла 8–10 ц/га, в Германии и Голландии – в 2.5–3.0 раза больше [1].

В ответ на обращение американских агрономов к немецким коллегам с вопросом, чем они объясняют регулярный рост урожаев в Германии в период 1885–1913 гг., последовал ответ, что 50% роста

урожаев должно быть отнесено на применение минеральных удобрений, 30% – на улучшение качества посевного материала и 20% – на счет улучшения обработки почвы [1].

Это соотношение практически предопределило внимание сельскохозяйственной науки к отраслям, определяющим урожайность зерновых культур, почти до конца XX века. Более того, по мере того как происходило углубление знаний в указанных направлениях, все большее предпочтение отдавали агрохимическим факторам увеличения урожайности, в первую очередь за счет снижения влияния обработки почвы. К 1980-м гг. в научных публикациях в числе действующих на урожайность факторов появился фактор влияния погодных условий.

В начале XI в. под влиянием глобального изменения климата на планете влияние погоды

Таблица 1. Долевое участие звеньев адаптивно-ландшафтной системы земледелия в формировании урожая зерновых культур, % [2]

Культуры	Действующие факторы					
	исходный уровень плодородия	удобрения	гербициды (защита растений)	обработка почвы	взаимодействие факторов	метеоусловия
Яровые зерновые	21.7	27.4	19.9	11.7	3.9	15.4
Озимые зерновые	23.8	11.6	17.3	15.3	4.0	28.0

на урожайность прочно закрепилось в рейтинге основных действующих факторов (табл. 1).

Показано, что суммарное влияние агрохимических факторов на урожайность культур составляет 52.7–68.0, обработки – 11.7–15.3, метеоусловий – 15.4–28, остаточных факторов (в которые входит, очевидно, и влияние сорта) – 12.7–15.4%. То есть, преимущество по влиянию на урожайность остается за агрохимическими факторами. Автоматически эти предпочтения стали распространять и на возможность компенсации неблагоприятных погодных проявлений влияния на урожайность зерновых культур.

Предлагали преодолевать возникающие риски, вызванные воздействием погодных условий на урожайность, путем повышения окультуренности почвы, выведения и районирования адаптивных сортов растений и максимальным применением средств интенсификации производства [1, 3]. Примерно такого же характера разработки и рекомендации известны и в зарубежных публикациях [4–6].

Цель работы – анализ возможности снижения межгодовых изменений урожайности зерновых культур, вызванных неблагоприятными метеорологическими явлениями, за счет использования методов и приемов, влияющих на урожайность возделываемых культур.

ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ПОЧВЫ

Согласно определению Большой Российской энциклопедии [7], окультуривание почвы – это система научно обоснованных мероприятий, направленных на повышение плодородия почвы с целью создания условий для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. В свою очередь плодородие – это способность почвы одновременно обеспечивать растения водой, пищей и воздухом, а также создавать для них наиболее благоприятные (оптимальные) физические, физико-химические, химические и биологические условия роста и развития [8].

В годы СССР на территории Белоруссии проводили широкомасштабный эксперимент, целью

которого было выравнивание равновесной и оптимальной плотностей почвы (за счет внесения повышенных доз органических удобрений) с целью стабилизации и повышения получаемых урожаев [9]. Результаты эксперимента показали, что внесение органических удобрений в дозе 380 т/га за 9 ротаций 5-польного севооборота привело к увеличению полевой влагоемкости дерново-подзолистой супесчаной почвы на 5–6%. Внесение навоза 112–224 т/га в легкосуглинистую почву за одну ротацию 9-польного севооборота обеспечило увеличение полевой влагоемкости на 1.8–2.7%. Эффекта от внесения навоза 50 т/га за ротацию 5-польного севооборота в другой области республики на легкосуглинистой почве не было. Полученные данные свидетельствовали о том, что, во-первых, внесением органических удобрений в дозах 8–25 т/га невозможно ликвидировать разницу между равновесной и оптимальной плотностью дерново-подзолистых почв. Во-вторых, такие дозы органических удобрений не в состоянии обеспечить существенного улучшения водного режима этих почв за счет увеличения их влагоемкости (запасы влаги в пахотном слое увеличивались на 5–13 мм). Такого количества влаги хватало лишь на 2–3 засушливых дня [9].

В итоге авторы исследования пришли к выводу [9], что единственным способом регулирования плотности сложения дерново-подзолистых суглинистых почв в производственном масштабе является их механическое рыхление. То есть, путем внесения повышенных доз органических удобрений преобразовать дерново-подзолистые почвы в некое подобие черноземов невозможно. Но в то же время путем систематического внесения органических и минеральных удобрений, совершенствования севооборотов и агротехники возделывания культур можно значительно снизить коэффициент вариации урожайности по годам.

Этот вывод подтвердили результаты учета урожайности яровой и озимой пшеницы в Беларуси в последнее десятилетие 2010–2021 гг. В среднем для озимой пшеницы при урожайности 30.5 ц/га коэффициент вариации был равен 16.5%, для яровой пшеницы – 28.4 ц/га при

коэффициенте вариации 17.1% при дозах внесения органических удобрений под зерновые культуры 4.3–5.8 т/га [10, 11].

В России после перехода на рыночную экономику произошло резкое снижение объемов внесения минеральных и органических удобрений, в результате которого вынос питательных элементов урожаем превышал их внесение в 3–4 раза [8]. Таким образом, в условиях производства отечественное сельское хозяйство вынуждено перешло на экстенсивную систему ведения производства.

В условиях научных экспериментов, особенно на дерново-подзолистых и каштановых почвах, за 30–50 лет воздействия на эти почвы также не удалось создать систему воспроизводства плодородия почвы в соответствии с современными требованиями аграрной науки и практики [12]. В частности, в Нечерноземной зоне урожайность пшеницы на дерново-подзолистой почве в значительной степени определяется распределением осадков в течение вегетационного периода. Например, урожайность озимой пшеницы 5–6 т/га можно получить на высокоокультуренной почве при ее следующих агрохимических показателях: содержание гумуса – 2.1–2.8%, P_2O_5 – 180–260 и K_2O – 200–270 мг/кг и при внесении минеральных удобрений в дозе (NPK)180, а также органических удобрений в дозе 30 т/га. И в то же время на почвах с содержанием гумуса в 1.4–1.5% урожайность яровой пшеницы при дозе внесения азотных удобрений от N0 до N120, может меняться от 0.5 до 5.5–6.0 т/га. То есть, определяющим при существующем уровне окультуренности почвы является не ее гумусированность, а обеспеченность растений влагой [13].

Кроме того, в ряде современных исследований, особенно в тех, где учитывают неоднородность сложения участков полей, выводы звучат еще более резко. Например, в исследованиях урожайности многолетних трав, проводившихся в Республике Коми в течение 10 лет, доминирующую роль занимали физические свойства почвы по сравнению с агрохимическими показателями, что указывало на то, что именно агрофизическое состояние почв (характеризуемое в первую очередь величинами плотности твердой фазы, плотности сложения и влажности почвы) оказывало определяющее влияние на величину урожая многолетних трав [14].

В работе [15] показано, что “...неоднородность почвенных свойств оказывает существенное и неравнозначное влияние на урожайность сои (Краснодарский край). Из всей совокупности исследованных почвенных и агрохимических свойств главными факторами, являются условия увлажнения корнеобитаемой толщи и наличие внутрипочвенных уплотненных слитых горизонтов. Агрохимические

свойства почв на фоне лимитирующего влияния указанных условий не являются определяющими”.

Более того, анализ влияния внесения органических удобрений на урожайность зерновых культур в Краснодарском крае в период 2000–2013 гг. показал отрицательный коэффициент корреляции (–0.448) между дозой внесения органических удобрений и величиной урожайности. В целом урожайность зерновых в крае, прежде всего, определяется погодными условиями [16].

Поэтому окультуривание почвы, как комплекс мероприятий, обеспечивающий растения оптимальными условиями роста и развития, несомненно полезно для поддержания уровня плодородия почвы, но возможность решить задачу стабилизации урожайности по годам без снижения влияния погодных условий на урожайность вызывает сомнения.

ВОЗМОЖНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ УРОЖАЙНОСТИ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Урожайность в каждый отдельно взятый год чаще всего полностью определяется обеспеченностью растений элементами питания, но с весьма существенной оговоркой, что год не является экстремальным по погодным условиям. В годы с недостаточным увлажнением удобрения “не срабатывают” из-за недостатка осадков, а в годы с избытком осадков растения угнетаются из-за недостатка пористости аэрации. В среднем в исследованиях [17–19] показано, что применение только удобрений или гербицидов для интенсификации технологий приводило к росту урожайности, но не уменьшало, а в ряде случаев и увеличивало коэффициент вариации урожайности по годам. Комплексное применение средств интенсификации достоверно снижало вариацию урожайности по годам только ячменя (последней культуры в использованном севообороте). Для пшеницы урожайность практически не изменялась, а при ее посеве после пара даже увеличивалась (табл. 2).

Аналогична ситуация отмечена и на Урале [20]. Увеличение увлажнения вегетационного периода приводило к повышению урожайности яровой пшеницы до 64%, а изменение фона питания повышало урожайность только на 25–26%. Близкое по величине влияние погодных условий на урожайность ячменя отмечено и в Курском ФАНЦе [21]. Влияние погодных условий на урожайность составило 52.0, минеральных удобрений – 22.8% (табл. 3).

При использовании технологии точного земледелия (Северо-Западный ФО) в пределах одного

Таблица 2. Урожайность и коэффициент вариации урожайности яровых зерновых в зависимости от примененных средств химизации в лесостепи Западной Сибири (1986–2012 гг.) [17–19]

Средства химизации	Культура и предшественник			
	пшеница после пара	пшеница после пшеницы	пшеница после кукурузы	ячмень после пшеницы
Без средств химизации	22.7/2.29*	27.8/1.48	27.8/1.82	45.9/1.70
Гербициды	26.8/2.60	26.8/1.98	26.8/2.14	28.2/2.38
Удобрения	29.4/2.53	27.0/1.94	27.0/2.20	41.0/2.17
Гербициды + удобрения	28.7/2.88	23.2/2.48	23.2/2.51	24.4/2.76
Гербициды + удобрения + фунгициды	26.8/3.43	25.0/3.13	25.0/2.91	21.9/2.93
Гербициды + удобрения + фунгициды + ретарданты	27.8/3.75	25.6/3.05	25.6/2.99	23.6/3.02

Примечание. Над чертой – коэффициент вариации, %, под чертой – урожайность, т/га.

Таблица 3. Урожайность яровой пшеницы в севооборотах в различные по увлажнению годы на Урале (2002–2011 гг.) [20]

Фон питания	Увлажнение вегетационного периода			Пределы вариации урожайности, т/га
	засушливый	умеренный	влажный	
Без удобрений	<u>1.61*</u> 100	<u>2.56*</u> 159	<u>2.64*</u> 164	0.98–3.33
Минеральный	<u>2.79</u> 100	<u>3.51</u> 126	<u>3.25</u> 116	1.43–4.64
Органо-минеральный	<u>2.94</u> 100	<u>3.69</u> 125	<u>3.38</u> 115	1.24–5.05

Примечание. Над чертой – урожайность, т/га, под чертой – % от засушливого года.

Таблица 4. Вклад факторов в формирование урожайности зерна яровой пшеницы, % [23]

Доля фактора / Технология*	К	Х	ВИ	ТЗ	Среднее
Погодные условия (А)	92.9	93.5	92.9	55.5	83.7
Почвенная разность (Б)	5.7	5.9	0.33	25.0	9.2
Взаимодействие (АБ)	1.0	0.2	6.5	19.1	6.7

К – экстенсивная технология (удобрения не вносили), Х – нормальная технология ((НПК)50 + гербицид Линтур), ВИ – интенсивная технология (N110 P70 K50 + гербицид Линтур + фунгицид Фалькон (2-кратная обработка) + инсектицид Карате-Зенон), ТЗ – точное земледелие (то же, что и ВИ, только азотные и калийные удобрения вносили по результатам диагностики их содержания на различных участках поля).

вегетационного года влияние удобрений и средств защиты растений составляло для ярового ячменя и озимой ржи 73.1 и 89.4%. Если же рассматривать влияние факторов за несколько лет вегетации, то доминирующим фактором были гидротермические условия года. Влияние гидротермических условий на урожайность зерновых составляло 43–59% при влиянии агрохимических факторов на уровне 24–11% [22]. Непосредственно “вклад” рассматриваемых факторов в изменение урожайности по мере интенсификации применяемых технологий представлен в табл. 4.

Кроме того, “... практика показывает, что максимальную прибавку при внесении азота можно получить только если культуры одновременно

получают фосфор, калий и воду в достаточных количествах” [24], т.е. одним из основных лимитирующих урожайность факторов в регионах с естественным увлажнением, является неуправляемый фактор выпадения осадков.

Таким образом, снижение эффективности средств интенсификации в условиях недостатка или избытка влаги (именно в те моменты, когда их влияние наиболее актуально) и в условиях неоднородности сложения полей ставит под сомнение возможность применения средств интенсификации для нивелирования влияния неблагоприятных погодных проявлений на урожайность возделываемых культур.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Что касается перехода на устойчивые сорта растений, то на протяжении многих лет в селекции используют следующий принцип: внешняя среда на любом этапе селекционной работы должна соответствовать почвенно-климатическим условиям региона, где предполагается возделывание сорта, что позволяет реализовать экологическую направленность селекции [25]. Если регион относится к зоне достаточного увлажнения (например, Нечерноземная зона), то и разработку сортов проводят для условий достаточного увлажнения в любой период их развития. При этом в современных условиях (за последние 10 лет) изменения гидротермического коэффициента Селянинова в регионе составило за вегетацию от 0.57 до 4.05. Из них 3 года почва в период налива зерна высыхала до влажности устойчивого завядания, а 2 года была переувлажненной, 3 года периода конца кушения—начала выхода в трубку были засушливыми и 3 года — переувлажненными. Майскую засуху фиксировали дважды, переувлажнение — также дважды. Поэтому изначальный принцип достаточного увлажнения (регион по статистике относится к региону с ГТК = 1.4) оказался систематически нарушенным. Таким образом, устойчивый сорт должен развиваться и быть высокоурожайным при любом режиме увлажнения.

Возможно из-за этого, создавая новые сорта, селекционеры решению проблемы межгодовой вариации урожайности пока уделяют недостаточное внимание, аргументируя данную позицию невозможностью предсказания и контроля возникновения, сроков, тяжести и продолжительности условий водного стресса [26, 27]. При этом приоритет в преодолении негативного влияния погодных условий на урожайность при создании сортов отдается выведению засухоустойчивых сортов в период налива и созревания зерна, но при этом более чувствительных и сильнее страдающих от дефицита или избытка почвенной влаги в другие периоды вегетации [28]. В результате сорта интенсивного типа, демонстрируя убедительные результаты достигнутых уровней урожайности в благоприятных условиях, в условиях адиабатических стрессов оказываются менее эффективными по сравнению с сортами экстенсивного типа [29–33]. И такой результат по мнению автора рабтры [34] вполне закономерен, т.к. селекция по потенциалу урожайности не определяет устойчивость к изменению климата и стабильность урожайности культуры.

Есть еще один фактор, который выступает антагонистом к внесению повышенных доз минеральных удобрений, особенно азотных. Это установленный в 1930-х гг. факт отрицательной корреляции

между урожайностью и белковостью зерна пшеницы [34, 35], который активно изучают до настоящего времени [36–38].

Основные зерновые культуры содержат 8–18% белка в зависимости от генотипа сорта. Изменения белковости зерна в ответ на изменения температуры, солнечной радиации, влагообеспеченности связаны главным образом с количеством углеродных компонентов (крахмала, жира) в расчете на одну зерновку (которые накапливаются систематически и достаточно быстро, особенно при высоком обеспечении элементами питания), в то время как количество белка в зерновке остается относительно постоянным [39].

В результате на низком азотном фоне урожайность зерна увеличивается линейно с повышением количества доступного азота, что поддерживает постоянство содержания белка в зерне. При средней доступности азота для растения начинает проявляться отрицательная нелинейная корреляция между белковостью и урожайностью. Подобный характер зависимости объясняется эффектом разбавления примерно постоянного количества азота в зерновках в увеличивающемся количестве углеродных компонентов. В целом факторы среды влияют на урожайность и белковость зерна синхронно, и между ними наблюдается сильная отрицательная корреляция [40, 41].

В целом проблему межгодовой устойчивости урожайности зерновых культур в работе [27] называли “надгенетической” и предложили ее решать за счет реформирования среды обитания растений, понимая при этом под средой обитания не столько воздействие погодных условий, сколько антропогенные мероприятия, связанные с технологией возделывания культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ показал, что возможность применения агрохимических и селекционных подходов в качестве приемов для снижения зависимости продуктивности зерновых культур от погодных условий вызывает достаточно обоснованную долю скептицизма.

Комплексом приемов повышения и поддержания плодородия почвы можно снизить межгодовую вариацию урожайности зерновых. Но для достижения уровня плодородия, обеспечивающего снижение зависимости урожая от погоды, требуется многолетняя систематическая и кропотливая работа с почвой, сортами и агротехникой возделываемых культур, т.е. возможность оперативно использовать фактор плодородия для снижения зависимости от текущих погодных условий вызывает сомнения.

При этом агрофизическая составляющая технологических процессов выращивания зерновых культур остается явно недооцененной. Особенно если учесть, что по данным страховых агентств, в России повторяемость масштабных неблагоприятных погодных проявлений, выражающихся прежде всего в недостатке или избытке влаги в почве, приводящих к страховым выплатам, составляет: весенних – 42, летних – 33, осенних – 25% (без учета локальных неблагоприятных проявлений) [43].

Оперативно управлять влагообеспеченностью посевов (из агротехнических приемов) можно только с помощью обработки почвы, но ее в последние десятилетия рассматривают чаще всего как экономический фактор [44], хотя и существуют работы, описывающие взаимосвязь агрофизических параметров обрабатываемой почвы с продуктивностью возделываемых культур, биологическими, агрохимическими и селекционными составляющими технологий [45–47].

Поэтому в качестве оперативного решения вопроса снижения зависимости продуктивности зерновых культур от погодных условий вегетационных периодов наиболее перспективно использование объемно-гетерогенного строения пахотного слоя почвы [47, 48].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / Под ред. А. Л. Иванова, В. И. Киришина. М.: РАСХН, 2009, 518 с.
2. Матюк Н.С., Полин В.Д. Ресурсосберегающие технологии обработки гетерогенного слоя почвы в адаптивном земледелии. М.: Изд-во РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 222 с.
3. Романенков В.А., Павлова В.Н., Беличенко М.В. Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур // *Агрохимия*. 2022. № 12. С. 19–30.
<https://doi.org/10.31857/S0002188122120110>
4. Bucur D., Jitareanu G., Ailincai C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of food // Agricult. Environ.* 2011. № 9(2). P. 207–209.
5. Lobell D.B., Field C.B. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming // *Environ. Res. Lett.* 2007. V. 2. № 1. P. 1–7.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>
6. Mandal S., Breach P., Simonovic S. Uncertainty in precipitation projection under changing climate conditions: A Regional case study // *Amer. J. Climate Change*. 2016. V. 5. P. 116–132.
<https://doi.org/10.4236/ajcc.2016.51012>
7. Першина О.Ф. Окультуривание почвы // *Больш. Рос. энциклопедия*. Т. 24. М., 2014. С. 67.
8. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 328 с.
9. Афанасьев Н.И. Основные проблемы физики дерново-подзолистых почв БССР и пути их решения // *Почвоведение*. 1990. № 5. С. 128–138.
10. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Стат. сб. Минск: Нац. стат. комитет Республики Беларусь, 2017. 233 с.
11. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Стат. буклет. Минск: Нац. стат. комитет Республики Беларусь, 2022. 36 с.
12. Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мёрзлая Г.Е. Исследования динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // *Агрохимия*. 2018. № 2. С. 3–21.
13. Милащенко Н.З., Завалин А.А., Сычев В.Г., Самойлов Л.Н., Трушкин С.В. Факторы повышения эффективности удобрений в интенсивных технологиях возделывания пшеницы в России // *Агрохимия*. 2015. № 11. С. 13–18.
14. Басевич В.Ф., Тенькин В.Л. Неоднородность подзолистых почв и пестрополье // *Вестн. МГУ. Сер.17. Почвоведение*. 2010. № 2. С. 35–42.
15. Кутузова Н.Д. Неоднородность свойств Предкавказских черноземов как фактор урожайности сои: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 292 с.
16. Шмакова А.В., Косников С.Н. Анализ урожайности зерновых культур и факторов, влияющих на ее уровень (на примере сельскохозяйственных организаций Краснодарского края) // *Научн. журн. КубГАУ*. 2015. № 112(08). <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/113.pdf>
17. Юшкевич Л.В., Корчагина И.А., Ломановский А.В. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2014. № 6. С. 30–32.
18. Юшкевич Л.В., Щитов А.Г., Егорова Н.И., Штро Е.В. Совершенствование технологии возделывания ячменя в Лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2013. № 2. С. 26–28.
19. Юшкевич Л.В., Щитов А.Г., Хамова О.Ф., Кононов С.В. Оптимизация обработки почвы и применения средств химизации при возделывании второй пшеницы после пара в Южной Лесостепи Западной Сибири // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2013. № 9. С. 20–22.
20. Постников П.А., Попова В.В. Урожайность яровой пшеницы в севооборотах // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2013. № 2. С. 19–21.
21. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н. Влияние элементов технологий возделывания на влагообеспеченность ярового ячменя в условиях Курской области // *Земледелие*. 2023. № 2. С. 32–36.
<https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-2-32-36>

22. Фесенко М.А. Вклад случайных и контролируемых факторов в формировании урожайности зерновых культур полевого севооборота // *Агрофизика*. 2017. № 2. С. 40–46.
23. Лекомцев П.В. Научно-методическое обеспечение управления продукционным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия: Дис. д-ра биол. наук. СПб.: АФИ, 2015. 365 с.
24. Лана В.В., Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В. База данных лимитирующих урожай факторов сельскохозяйственных культур для почвенных информационных систем // Сб. докл. V Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рожд. Акад. РАСХН А. П. Щербакова. 28–30 сентября 2021 г. Курск, 2021. С. 161–165.
25. Кильчевский А.В. Экологическая организация селекционного процесса // *Генетические основы селекции*. Уфа, 2008. С. 70–86.
26. Dolferus R.J.X., Richards R.A. Abiotic stress and control of grain number in cereals // *Plant Sci*. 2011. V. 181. P. 331–341.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.015>
27. Yue B., Xue W.J., Xiong L.Z., Yu X.Q., Luo L.J., Cui K.H., Jin D.M., Xing Y.Z., Zhang Q.F. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance // *Genetics*. 2006. V. 172. P. 1215–1228.
28. Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Безуглая Т.С. Основные направления и задачи селекции пшеницы твердой озимой в условиях изменения климата // *Зерн/хоз-во России*. 2021. № 6(78). С. 53–61.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-53-61>
29. Николаев П.Н., Поползухин П.В., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка адаптивных свойств ярового ячменя по урожайности в условиях Омского Прииртышья // *Тр/ по прикл. бот., генет. и селекции*. Т. 179. Вып. 2. С. 96–105.
<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-2-96-105>
30. Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья // *Тр. по прикл. бот., генет. и селекции*. Т. 179. Вып. 4. С. 28–38.
<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-28-38>
31. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку “масса 1000 зерен” к засушливым условиям Ставропольского края // *Зерн. хоз-во России*. 2022. Т. 14. № 4. С. 16–21.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-2131>
32. Гладышева О.В., Барковская Т.А. Оценка селекционного материала пшеницы яровой на продуктивность при различных стрессовых условиях внешней среды // *Аграрн. наука*. 2017. № .11–12. С. 18–19.
33. Pennacchi J.P., Carmo-Silva E., Andralojc P.J. Stability of wheat grain yields over three field seasons in the UK // *Food Energy Secur.* 2019. V. 8. e00147.
<https://doi.org/10.1011/2019-02-00147>
34. Кошкин Е.И. Возможно ли сочетание высокой урожайности и качества урожая полевых культур? // *Агрохимия*. 2018. № 6. С. 89–98.
35. Cober E.R., Vollmann J., Rajcan I. Soybean. Oil crops. Ser.: Handbook of plant breeding. N.Y.: Springer, 2009. V. 4. Ch. 3. P. 57–90.
36. Triboui E., Martre P., Triboui-Blondel A. M. Environmentally induced changes of protein composition for developing grains of wheat are related to changes in total protein content // *J. Exp. Bot.* 2003. V. 54. P. 1731–1742.
37. Jamieson P.D., Semenov M.A. Modelling nitrogen uptake and redistribution in wheat // *Field Crops Res.* 2000. V. 68. P. 21–29.
38. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // *Тр. по прикл. бот., генет. и селекции*. 2020. Т. 181(2). С. 42–49.
<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49>
39. Triboui F., Martre P., Girousse C., Ravel C., Triboui-Blondel A. M. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat // *Eur. J. Agron.* 2006. V. 25. P. 108–118.
40. Terman G.L. Yields and protein content of wheat grains as affected by cultivar, N and environmental growth factors // *Agron. J.* 1979. V. 71. P. 437–440.
41. Triboui F., Martre P., Girousse C., Ravel C., Triboui-Blondel A. M. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat // *Eur. J. Agron.* 2006. V. 25. P. 108–118.
42. Драгавцев В.А., Макарова Г.А., Кочетов А.А., Кочерина Н.В., Мирская Г.В., Синявина Н.Г. Некоторые задачи агрофизического обеспечения селекционных технологий для генетического повышения продуктивности и урожая растений // *Агрофизика*. 2011. № 1. С. 14–22.
43. Неблагоприятные для сельского хозяйства метеорологические явления // *Pandia.ru*. 2009–2022. URL: <https://pandia.ru/text/77/153/19375.php?ysclid=l88f3r1j8x523958396> (дата обращения: 29.09.2022)
44. Конищев А.А., Конищева Е.Н., Гарифуллин И.И. Исследование причин, побуждающих к переходу на минимизированные обработки почвы. // *Аграрн. вестн. Урала*. 2019. № 4. С. 4–11.
https://doi.org/10.32417/article_5cf94af50de060.9226956

45. *Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н.* Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков: 13 типография, 2004. 244 с.
46. *Панкова Т.И.* Оценка связи плотности почвы с показателями плодородия чернозема типичного // Сб. докл. V Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рожд. Акад. РАСХН А. П. Щербакова 28–30 сентября 2021 г. Курск, 2021. С. 207–209.
47. *Конищев А.А.* Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры // Аграрн. вестн. Урала. 2020. № 3(194). С. 21–27.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-21-27>
48. *Гарифуллин И.И.* Обоснование и управление плотностью сложения почвы, обеспечивающее стабилизацию урожайности зерновых культур: Дис. ... канд. с.-х. наук. Иваново, 2022. 172 с.

Analysis of Methods of Increasing the Productivity of Grain Crops to Reduce the Interannual Variation of Their Yield

A. Konishchev^{a,#}, I. I. Garifullin^a, E. N. Konishcheva^b

^a*Ivanovo Scientific Research Institute of Agriculture – branch of the Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Center, ul. Tsentralnaya 2, Ivanovo region, Ivanovo district, d. Bogorodskoye 153506, Russia*

^b*Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnlogy, ul. Sovetskaya 45, Ivanovo region, Ivanovo 153012, Russia*

[#]*E-mail: aleksei.konishev2010@yandex.ru*

Scientific observations of the growth and productivity of grain crops have been carried out in the world for more than 100 years. It is established that the productivity of plants primarily depends on the amount of nutrients in the soil, the effectiveness of which depends on the varieties used, the agrotechnics of their cultivation and weather conditions. The ever-increasing need for food has led to the accelerated use of nutrients and the creation of plant varieties that are more demanding to the conditions of development. At the same time, the industrial development of the planet has led to climate changes that reduce many previous achievements of agricultural science and practice by their impact on yields. The effect of nutrition elements on yield from 50–60% on an annual scale is reduced to 20–30% with long-term consideration. The dependence of the yield of modern varieties on weather conditions is 30–80%. It is possible to reduce its dependence on weather conditions by increasing soil fertility, while understanding under fertility not so much the saturation of the soil with nutrients, as a set of measures, including agrophysical ones, aimed at a controlled effect on the soil in order to create an optimal water-air regime, since one of the main directions of the influence of weather on plant productivity there is a change in the moisture supply of plants. Separately, each of the traditional factors of increasing yields to reduce dependence on weather conditions is ineffective.

Keywords: soil fertility, mineral and organic fertilizers, plant varieties, yield, yield dependence on weather conditions.