DOI 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168
УДК 631.51.01(100)

Турин Е. Н.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРЯМОГО ПОСЕВА В МИРЕ (ОБЗОР)

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. *Глобальный спрос на сельскохозяйственные культуры растет и может продолжать расти в течение десятилетий, стимулируемый ростом мирового населения. Для того, чтобы сельское хозяйство удовлетворило этот спрос на продовольствие, но при этом оставалось природоохранным, необходимо достичь системного понимания взаимосвязей между биофизическими процессами, деятельностью человека и социально-экономическими целями. В этом отношении технология прямого посева (no-till, система земледелия без обработки почвы, нулевая обработка почвы) в мире вызывает все больший интерес, и площади земель под новой системой ежегодно увеличиваются примерно на 6 млн га. В Российской Федерации площади возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы по разным оценкам составляют от 1,5 до 2,0 млн га. В свете растущей поддержки no-till в качестве инструмента для решения глобальных целей продовольственной безопасности и устойчивости развития растениеводства, нами предпринята попытка обобщить имеющийся современный научный материал, поэтому целью данного обзора стало выявление преимуществ и недостатков новой системы земледелия. Описаны ряд положительных (экологических, экономических и других) и отрицательных сторон системы земледелия прямого посева в мире. Определены основные три принципа системы нулевой обработки почвы: минимальное нарушение почвенного покрова, сохранение растительных остатков и применение адаптированного плодосмена (севооборот в традиционной технологии). Приведены данные о влиянии прямого посева на урожайность сельскохозяйственных культур в различных странах. Показано, что no-till является наукоемким, и, несмотря на большое количество работ, посвященных технологии без обработки почвы, необходимо ориентироваться на научные данные, полученные в конкретном регионе с определенным биоклиматическим потенциалом.*

Ключевые слова: *прямой посев, система земледелия, no-till, обработка почвы, нулевая система.*

Более 99,7 % пищи человека поступает из земной среды и менее 0,3 % – из океанов и других водных экосистем. Во всем мире из общей площади 13 млрд га земли в процентном отношении используются: под пашней – 11 %; пастбищами – 27 %; лесом – 32 %; городами – 9 %; другое – 21 %. Остальные, 21 %, в основном не подходят для выращивания сельскохозяйственных культур из-за слишком бедной почвы или климата. Таким образом, наиболее подходящую для производства продукции почву уже используют [1].

В то же время, население продолжает расти высокими темпами – сегодняшнее количество людей в мире в два раза больше, чем в 1960 г., и, по прогнозам, увеличится еще до девяти миллиардов к 2050 г. [2–3].

Вместе с тем, сельское хозяйство оказывает серьезное воздействие на окружающую среду: освоение новых земель и фрагментация среды обитания угрожают биоразнообразию [4], обработка почвы способствует проявлению таких нежелательных явлений, как ветровая и водная эрозия [5], а в долгосрочной перспективе – снижению запасов гумуса и ухудшению физических свойств почвы,

необдуманное внесение удобрений может повлечь за собой не только экономические затраты, но и нанести вред морским, пресноводным и наземным экосистемам [6].

Кроме того, параллельно стоит вопрос о снижении затрат на получаемую продукцию. По мнению как отечественных [7–8], так и зарубежных исследователей [3, 9–10], традиционная система земледелия часто характеризуется высокими темпами потребления энергии ископаемого топлива, чрезмерным использованием питательных веществ, деградацией почвы. Однако глобальный (мировой) императив сформулирован в следующем – «производить больше с меньшими затратами».

Для достижения этой цели человечество стало выдвигать различные стратегии, одной из которых стала эколого-энергосберегающая малозатратная технология возделывания сельскохозяйственных культур, именуемая системой земледелия прямого посева (no-till, нулевая технология, технология без обработки почвы).

Вопросы по использованию технологии прямого посева в отдельных странах были в основном раскрыты в обзорах американских [11–12], европейских [13], бразильских [14] ученых, а также исследователей из Пакистана, Омана [15] и Австралии [16]. Но, несмотря на значительное количество статей, так или иначе затрагивающие новую систему земледелия в России, найдены только две обзорные статьи отечественных ученых, посвященных более узким вопросам – функциональной роли азота при традиционной технологии обработки и прямом посеве [17], и возможности посева озимой пшеницы в необработанную почву [18].

В свете растущей поддержки no-till в качестве инструмента для решения глобальных целей продовольственной безопасности и устойчивости развития растениеводства, нами предпринята попытка обобщить имеющийся современный научный материал, поэтому **целью данного обзора** стало выявление преимуществ и недостатков новой системы земледелия.

Подсчитано, что в 1999 г. количество земли под no-till в мире составляло 45 млн га, в 2009 г. – 111 млн га, в 2015 – более 125 млн га, а в 2017 г. – более 150 млн га и продолжает увеличиваться, примерно на 6 млн га ежегодно [19–21]. Главным образом, расширение площадей происходит за счет земель в Северной и Южной Америках, Австралии и, в настоящее время, no-till занимает 10 % мировых сельскохозяйственных угодий. Почти в каждой стране мира эта система земледелия в том или ином виде заинтересовала фермеров и научных исследователей [22]. В Российской Федерации площадь возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы по разным оценкам составляет от 1,5 до 2 млн га [23].

Идея технологии прямого посева появилась в 1871 г. у Ивана Овсинского, и именно он начинал первые опыты по возделыванию сельскохозяйственных культур без вспашки [24]. Теоретические концепции, напоминающие современные принципы no-till, разработаны Эдвардом Фолкнером в 1945 г. и освящены в его известной книге «Безумие Пахаря» [22] и Масанобу Фукуока в 1975 г. в работе «Революция одной соломинки» [25].

Эрозия почвы и пыльные бури в 30-х гг. прошлого столетия заставили задуматься ученых США, Австралии и Канады над сохранением почвенного плодородия, и решиться проводить посев непосредственно в пожнивные остатки прошлогодних культур. В начале 1970-х гг. земледелие без обработки почвы достигло Бразилии, где фермеры с помощью ученых трансформировали эту технологию в систему, которая сегодня называется no-till [22]. Похожую технологию в 1970-х гг. начали внедрять одновременно в Западной Африке, о чем свидетельствуют научные работы того времени [26–28].

Тем не менее, прошло 20 лет, прежде чем no-till достиг широкого распространения в Южной Америке и других странах [22]. За это время сельскохозяйственная техника совершенствовалась, а агрономический опыт фермеров

вырос. По мнению Friedrich T. с соавторами, этот процесс схож с творчеством или искусством, но постоянно нужно совершенствоваться [22].

Термины no-till (NT) или zero-till (ZT) (иногда встречающиеся в иностранной литературе), прямой посев или посев в необрабатываемую почву, используют взаимозаменяемо, хотя в Австралии ZT означает посев дисковым ножом, а NT – узким ножом шириной 12–15 мм.

В настоящее время прямой посев применяют фермеры из Арктического круга (Финляндия), в тропиках (Кения, Уганда), примерно до 50° южной широты (Мальвинские, Фолклендские острова) [20, 29]. В нескольких странах мира (например, в Боливии, Колумбии) no-till используют на землях до 3000 м над уровнем моря. Задействованы и страны с крайне засушливыми условиями с осадками до 250 мм в год (например, Западная Австралия, Северный Китай), и с избыточным их количеством – до 2000 мм в год (Бразилия) и даже 3000 мм в год (Чили). No-till практикуют на легких почвах Австралии, и на тяжелых заплывающих в Бразилии.

Довольно широко посев в необрабатываемую почву распространен в Аргентине. Еще в начале 90-х гг. фермеры стали активно развивать это направление и с тех пор движение идет в экспоненциальном темпе. Ежегодно от 60 до 80 % посевных площадей основных пампийских сельскохозяйственных культур ведут под no-till.

В научной статье ученых из разных стран говорится о том, что «…Все культуры могут быть произведены надлежащим образом в системе без обработки почвы, и, как известно авторам, еще не найдено ни одной культуры, которую бы не выращивали и не производили в рамках этой системы, включая корнеплодные и клубнеплодные культуры…» [20]. Все это свидетельствует о широких возможностях и большой практической значимости системы земледелия.

Несмотря на то, что в России прямой посев распространен меньше, популярность его год от года возрастает, особенно среди фермерских хозяйств. Так, технология прямого посева, используемая ООО «Вирт» (Алтайский край), позволила успешно культивировать яровую и озимую пшеницу (занимают 20 и 14 % в структуре посевных площадей), яровой рапс (11 %), гречиху (15 %), овес, ячмень, зернобобовые и кукурузу (до 8 %) [30].

В ООО «Камышеватское» (Краснодарский край), применяя no-till на 7 тыс. га, ежегодно получают высокие и стабильные урожаи зерновых и пропашных культур [31]. В частности, расчет биологической урожайности озимой пшеницы показал возможность получения до 60 ц/га зерна этой культуры.

ООО «Добровольное» и ООО СХП «Урожайное» Ипатовского района Ставропольского края вышли в лидеры по урожайности озимой пшеницы, кукурузы и подсолнечника, благодаря применению нулевого посева [32].

Производственная практика предприятий ООО «Донская Нива» (Ростовская область), ООО ИПА «Отбор» (Прохладненский район Кабардино-Балкарской Республики), занимающихся no-till, также показала перспективность выбранной системы земледелия [33–35].

Иностранные исследователи считают, что корни происхождения системы земледелия прямого посева закладывались в большей степени фермерами, чем научным сообществом [22, 36]. Фермеры, как правило, экспериментируют на небольших площадях и только тогда, когда они полностью убедятся в преимуществах новой технологии, принимают ее на остальной площади. Как правило, они ограничены в ресурсах и не всегда готовы привнести инвестиции (в первую очередь, это касается покупки сельскохозяйственных машин и орудий), особенно если их хозяйство узкоспециализированное. Кроме того, часто сельхозтоваропроизводитель ищет существенные, видимые и немедленные выгоды, при рассмотрении вопроса о принятии практики no-till. Однако, многие преимущества использования этой новой

системы реализуются только в долгосрочной перспективе. Но, тем не менее, во всех этих случаях именно опыт фермеров был основным инструментом генерирования и распространения знаний.

Несомненно, при освоении прямого посева важную роль должны играть результаты научно-исследовательских институтов, позволяющие не просто констатировать преимущества данной технологии, но и обосновывать те или иные процессы и механизмы, происходящие с почвой и растениями. Такие исследования в России сегодня активно ведут и есть уже определенные результаты в ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» и ГНУ «Ставропольский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ФНБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», в Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» и других.

Так, по сообщению Дридигера В. К. с соавторами, в условиях Ставропольского края на черноземе обыкновенном урожайность пшеницы озимой по прямому посеву была выше, чем по традиционной технологии на 0,89–0,91 т/га (20,3–20,9 %), в то время, как на черноземе выщелочном напротив – на 0,75–1,47 т/га (23,4–34,0 %) ниже [37]. Выращивание этой же культуры с применением минеральных удобрений в опытах, проводимых ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», приводило к увеличению полевой всхожести по обеим технологиям, тем не менее, благодаря лучшей обеспеченности продуктивной влагой по прямому посеву эффективность внесения удобрений была выше [38].

По данным Гайдученко А. Н. с соавторами выращивание сои по системе прямого сева в сравнении с традиционным выращиванием позволило повысить содержание гумуса в почве на 0,27 %, снизить распространение болезней, в частности корневых гнилей на 4,9 %, уменьшить себестоимость продукции на 10 % [39].

В опытах Турина Е. Н. с соавторами технология no-till, по которой возделывали лен масличный, сорго и озимый ячмень в условиях Крыма, имела преимущество перед традиционной системой по показателю доступной влаги в метровом слое почвы [40]. Урожайность зерна сорго, полученной по традиционной технологии, в среднем составила 1,51 т/га, что на 0,08 т/га выше, чем по no-till, однако уровень рентабельности, напротив, был выше по прямому посеву (на 8 %) и составил 124 %.

В статье крымских ученых названы основные три принципа внедрения нулевой обработки почвы: минимальное нарушение почвенного покрова, сохранение растительных остатков и применение адаптированного севооборота [41], то есть, вмешательства в почву, такие как механическая обработка почвы, сведены к абсолютному минимуму или их избегают, а внешние факторы, такие как применение агрохимикатов и питательных веществ для растений минерального или органического происхождения, применяют оптимально, способами и в количествах, которые не препятствуют биологическим процессам или не нарушают их.

Вышеназванные принципы известны во всем мире. Они все чаще признаются в качестве важнейших для устойчивого развития сельского хозяйства и принимаются учеными и сельхозпроизводителями занимающимися прямым посевом как догма.

Земледелие при таких условиях выполняет эколого-защитные функции, способствует увеличению содержания в почве органического вещества и улучшению его физических свойств; уменьшается ветровая и водная эрозия, повышается биологическая активность почвы и ее влагоудерживающая способность [42–45]. Тем не менее, все авторы подчеркивают, что всего этого можно добиться в долгосрочной перспективе.

Растительные остатки являются важной особенностью при прямом посеве. Разработка методов эффективного использования этого огромного ресурса является

серьезной задачей. Неправильное использование растительных остатков (например, удаление с поля, сжигание или заделывание в почву) может способствовать ускоренной эрозии почвы, истощению плодородия, загрязнению окружающей среды (путем сжигания) [43]. Мульчирование растительными остатками ограничивает испарение почвенной влаги, тем самым увеличивая инфильтрацию и доступность ее для растений. Кроме того, разложение растительных остатков, удерживаемых на поверхности почвы, влияет на круговорот питательных веществ и их доступность для культуры, а сама мульча способствуют снижению зараженности сорняками и, по некоторым данным, повышению биологической активности почв. Конечно, стоит учесть, что существует определенная конкуренция в использовании растительных остатков между производством энергии, кормов для скота и для выполнения ею агроэкологических функций.

Проведенный систематический обзор таких агроэкологических функций растительного покрова и ряд исследований по данному вопросу иностранными учеными показал общее положительное влияние увеличения количества растительных остатков, оставляемых в поле в качестве мульчи [46–48]. Установлено, что для снижения испарения почвенной влаги примерно на 30 % необходимо иметь не менее 8 т/га растительных остатков, а на обилие почвенной мезо- и макрофауны количество оставляемых поверхностных остатков практически не влияет.

Адаптивный плодосмен образует центральную опору системы земледелия прямого посева. Правильно подобранный набор культур способствует уменьшению сорного компонента на полях, постепенно снижая потребность в гербицидах, оптимизирует использование растениями питательных веществ и влаги [44].

Некоторые исследователи подчеркивают необходимость использования бобовых культур в системе no-till [45]. Наиболее распространенными бобовыми культурами, используемыми при нулевой обработке в мире, по сообщению Mapfumo P. с соавторами, являются горох (*Pisum sativum* L.), арахис культурный (*Arachis hypogaea* L.), вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) и фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.) [49]. Как правило, эти культуры имеют преимущество перед другими, поскольку обеспечивают больший экономический эффект. Тем не менее, если нет готового рынка для сбыта продукции, фермеры, как правило, выращивают зерновые бобовые только на небольшой части своей земли, и этого, конечно, не достаточно, чтобы обеспечить ротацию по всей ферме. В качестве примера исследователи приводят фермы в Зимбабве, где основной севооборот «арахис-кукуруза-кукуруза», показал, что фактическая площадь, засеянная земляным орехом, составляла менее 5 % от площади посевных площадей. Повышение процента бобовых увеличивало урожай практически вдвое.

В поддержании и улучшении качества почв большую роль играет почвенная биота. Поэтому все ученые определяют биоразнообразие почв как корень устойчивого сельского хозяйства, а почвенную биоту считают ключевым компонентом стратегии обеспечения устойчивости сельского хозяйства.

Почвенные сообщества необычайно разнообразны. Почва содержит четверть биоразнообразия планеты и поддерживает, прямо или косвенно, высокую долю остального. Почвенные биологические сообщества включают организмы почти всех основных таксономических групп, встречающихся в наземных экосистемах. А сами почвенные организмы составляют до 25 % от 1,5 млн живых видов, описанных во всем мире, размеры которых от 3 мкм (для бактерий) до более 15 см для дождевых червей [50].

Беспахотное земледелие активизирует эту почвенную биоту, а появление грибов арбускулярной микоризы и дождевых червей предполагает повышенную способность no-till поддерживать круговорот питательных веществ в почвах [51].

Иногда в иностранной литературе даже встречается высказывание, что «no-till положительно влияет на «здоровье» почвы, улучшая ее физические и химические свойства» [52–53].

Косолап М. П. с соавтором считают, что численность дождевых червей до определенной меры является индикатором плодородия почвы [51]. Положительное их действие на почву, по мнению авторов, проявляется в следующем: измельчение и быстрое разложение растительных остатков, улучшение стабильности почвенных агрегатов, благодаря «склеиванию» частиц почвы, увеличение пористости (образуют устойчивые биопоры).

Положительный эффект сокращения обработки почвы на популяцию дождевых червей в традиционном сельском хозяйстве неоднократно описывали. Из 183 биологических показателей состояния почвы именно наличие дождевых червей являются основным [54].

В исследованиях английских ученых Briones Maria Jesus I. с соавтором, показано, что из 13 видов дождевых червей наиболее остро реагировал на обработку почвы *Lumbricus terrestris* [53]. При переходе на прямой посев количество представителей этого вида в почве увеличивалось на 124 %. Ученые называют дождевых червей «плугами природы» и считают их индикаторами состояния и «здоровья» почв.

Исследования, проведенные Дридигером В. К. с соавторами в Ставропольском крае по изучению влияния прямого посева и традиционной системы земледелия на количество дождевых червей, показали, что в среднем в севообороте с no-till находилось 33,1 экз./м^2 дождевых червей с живой массой 8,5 г, а в севообороте по традиционной системе – 3,0 экз./м^2 с живой массой 0,9 г [55]. На основании трех лет исследований сделан вывод об увеличении популяции дождевых червей в почве при использовании прямого посева.

Важно отметить, что возделывание сельскохозяйственных культур по no-till снижает затраты на обработку почвы и, соответственно, повышает рентабельность, что часто объясняется снижением потребления энергии и труда по сравнению с обычными системами [41, 56, 57]. Экономические выгоды в сочетании с уменьшением эрозии почв, по мнению Derpsch R. с соавторами, являются основной причиной перехода фермеров на нулевую обработку [20].

Среди других положительных сторон системы no-till иностранные авторы отмечают сокращение выбросов парниковых газов и уменьшение загрязнения подземных вод [58, 59]. В настоящее время сельское хозяйство обеспечивает примерно 30 % от общего объема выбросов парниковых газов, таких как CO_2, N_2O и CH_4. В новой парадигме устойчивого производства продуктов питания признана необходимость рентабельного сельского хозяйства, которое, в то же время, сохраняет и окружающую среду (за счет сокращения выбросов и содействия связыванию углерода в почвах).

Наряду с преимуществами система земледелия прямого посева, по мнению некоторых ученых и практиков, имеет ряд недостатков. Так, Павлов С. А. с соавтором в своем обзоре приводят ряд недостатков системы земледелия без обработки почвы, которые необходимо знать: это повышение плотности почвы в первые годы внедрения no-till; отказ от механической обработки почвы может привести к увеличению численности мышевидных грызунов, а также обязательна предварительная подготовка почвы при переходе на эту технологию [18].

Ranaivoson L. с соавторами акцентирует внимание на то, что не все фермеры согласны оставлять растительные остатки в поле, поскольку более выгодно ими кормить скот или производить этанол (после кукурузы), соответственно, один из основных принципов прямого посева – сохранение растительных остатков выпадает

из системы и полученные результаты уже будут совсем иными [46]. Кроме того, увеличение количества остатков (соломы) может усложнить проведение качественного сева, что является недостатком технологии no-till.

В то же время, дождевые черви, которых при прямом посеве намного больше в сравнении с традиционной технологией, могут приносить и вред, который состоит в уменьшении количества растительных остатков на поверхности почвы, что оставляет его незащищенным (это касается полей из-под культур, которые оставляют малое их количество); открытые ходы на поверхности могут увеличить испарение влаги; существует определенная угроза, что черви могут ускорить движение гербицидов и других загрязнителей по своим ходам в подземные воды, а это может привести к их загрязнению. Тем не менее, по мнению исследователей, польза от червей превышает их возможный вред [51].

С точки зрения влияния no-till на урожайность культур, не существует консенсуса относительно того, сохраняется ли урожайность или можно ожидать ее повышения или снижения [60, 61]. Имеются данные, что урожайность можно увеличить даже в условиях ограниченного водоснабжения [62, 63]. А масличные, бобовые культуры и хлопок во многих опытах и производственных посевах с no-till вообще не снижали своей продуктивности по сравнению с традиционной системой земледелия, что отражено в работах Alvarez R. и Steinbach H. S. (соя на аргентинских пампасах) [64], Ogle S. M. с соавторами, [66], Toliver D. K. с соавторами [66, 67]. Сам факт, что урожайность бобовых, масличных и хлопчатника поддерживается в режиме no-till, является важным открытием, учитывая популярность этих культур во всем мире.

За последние 40 лет опубликовано много работ, связанных с изучением влияния систем обработки почвы на урожайность сельскохозяйственных культур, большинство которых относится к Северному полушарию. Анализ публикаций Alvarez R. и Steinbach H. S. показал, что применение no-till оказывает незначительное влияние на урожайность культур на хорошо дренированных почвах при внесении азотных удобрений в Канаде, Китае и США, а лучшие результаты получены, как правило, в более засушливых районах [64]. На основании многолетних экспериментов исследователи делают вывод, что влияние систем обработки почвы на урожайность зависит от рассматриваемой культуры и севооборота, почвенно-климатических условий, а также элементов технологии, таких как срок сева, применение удобрений и выбора сорта. Исследователи делают важное заключение, что ощутимое увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, полученное в последние десятилетия в пампасах Аргентины, связано не с массовым внедрением no-till, а с применением этой технологии на основе грамотного применения удобрений, генетических достижений и других улучшений стратегий управления.

В своем мета-анализе по влиянию системы земледелия прямого посева на урожайность 50 различных сельскохозяйственных культур (кукурузы, пшеницы, ячменя, проса, овса, ржи, сорго, тритикале, люцерны, фасоли, нута, клевера, земляного ореха, чечевицы, люпина, гороха, арахиса, сои, хлопка, льна, горчицы, сафлора, подсолнечника, риса и других) с использованием 678 исследований Cameron M. Pittelkow с соавторами установил, что в среднем, прямой посев по сравнению с традиционной системой, снижает урожайность на 5,1 % [68]. Среди зерновых культур отрицательное воздействие no-till на урожайность было наименьшим для пшеницы (–2,6 %), а наибольшим – для риса (–7,5 %) и кукурузы (–7,6 %). Урожайность в первые несколько лет после введения no-till на поле снижалась по всем культурам, кроме масличных и хлопчатника, но через 3–10 лет уже соответствовала урожайности, полученной по традиционной системе (за исключением кукурузы и пшеницы во влажном климате).

Другой пример по влиянию систем земледелия на урожайность кукурузы приводят ученые Biamah E. K. с соавторами [69]. По их данным, в сельскохозяйственном секторе Зимбабве уже в 90-е гг. стали широко применять систему прямого посева, и урожайность зерна кукурузы в нормальные по влагообеспеченности и в засушливые годы была, как правило, выше по no-till, а в годы с повышенным количеством осадков, напротив, выигрывала традиционная система.

Однако большинство авторов все-таки склоняются к мнению, что кукуруза, по сравнению с другими культурами, в наибольшей степени реагирует на прямой посев снижением продуктивности [70–72]. Как правило, это объясняют ограниченным ростом корней из-за уплотнения почвы и дефицитом питательных веществ.

С другой стороны, Lal R. сообщил о двух исследованиях, где через восемь лет применения прямого посева стали получать стабильно большие урожаи зерна кукурузы, чем при системе на основе плуга [73]. Этот и другие примеры привели авторов к выводу, что внедрение системы земледелия без обработки почвы может привести к получению преимуществ в долгосрочной перспективе, а в краткосрочной (почти до 10 лет) возможны потери урожайности.

Ken E. Giller с соавторами в своем обзоре приводит группу факторов (кратко- и долгосрочных), определяющих положительные или отрицательные реакции урожайности сельскохозяйственных культур при возделывании их по прямому посеву [74]. Так, к положительным краткосрочным они отнесли увеличение водообеспеченности почвы (уменьшение испарения, уменьшение стока воды, увеличение инфильтрации) и снижение колебаний температуры почвы, а к долгосрочным – уменьшение эрозии почвы, увеличение органического вещества, улучшение агрегатного состояния. И более того, есть мнение, что чем дольше работает фермер по системе no-till, тем более позитивными будут эффекты от этой системы [68]. Предполагается, что в регионах с недостаточным количеством влаги развивается цикл положительной обратной связи, когда сохранение почвенной влаги увеличивает производство биомассы, в свою очередь, увеличивая покрытие почвой растительными остатками и уменьшая ее расход на испарение.

К отрицательным краткосрочным факторам исследователи зачислили плохое прорастание семян растений, повышенное количество сорняков, возникновение заболеваний, заболачивание (на слабо дренированных почвах), а к долгосрочным – возможное уплотнение почвы, кислотность, а также проявление аллелопатии [34].

Patrick C. Wall считает сорные растения «ахиллесовой пятой» no-till [75]. Поскольку борьба с сорняками часто трудоемка и дорогостояща, в первые годы использование гербицидов по прямому посеву будет больше, чем при обычной обработке почвы. Исследователь считает, что затраты на средства защиты растений являются основными в статьях расходов при прямом посеве.

Ряд обзоров показывает, что внедрение системы земледелия без обработки почвы может снизить урожайность культур из-за более холодной температуры почвы, ее уплотнения, измененным требованиям к плодородию почвы, которые могут привести к дефициту питательных веществ [65–67].

Это утверждение согласуется с выводами Hristovska T. с соавторами, которые подсчитали, что при принятии решения фермеров работать по системе no-till необходимо планировать расходы на гербициды до 25 % выше, чем при применении традиционной системы [76]. В тоже время, меньший расход топлива при системе земледелия прямого посева может нивелировать данную ситуацию.

С другой стороны, некоторые сторонники нулевой технологии утверждают, что при хорошей мульче или покрытии почвы сельскохозяйственными культурами, будет меньше сорняков. Ken E. Giller с соавторами называют такие сообщения бездоказательными [74]. По их мнению, только в долгосрочной перспективе с

постоянным использованием гербицидов и постепенной очисткой полей от сорняков возможно снижение засоренности.

В целом, снижение урожайности сельскохозяйственных культур при выращивании по системе no-till в среднем на 5 %, о котором сообщает Cameron M. с соавторами [68], заставляет задуматься ученых в глобальном масштабе, и ставит под сомнение перспективность системы земледелия прямого посева. В то же время, исследователи подчеркивают важную положительную сторону прямого посева – его экономическую составляющую, из-за возможности снижения затрат, и, в первую очередь, экономии ископаемого топлива, запасы которого на планете ограничены.

Такое суждение говорит о том, что результаты работы фермера по системе no-till должны быть оценены не только количественно (по урожайности), а по ряду других – агрономических, экономических и экологических факторов. И более того, по мнению Leeuwis C. нельзя автоматически предполагать, что прямой посев принесет пользу фермеру и сельскому образу жизни потому, что «показана выгода на определенном участке» [77]. Пригодность и принятие этой новой технологии в одном месте, как, например, в Южной Америке (в Аргентине), не означает, что она непременно и в таком же виде будет принята в других странах. Технологию прямого посева можно рассматривать только как успешную инновацию, которая, скорее всего, распространится спонтанно, когда будет полностью внедрена в местный социальный и экономический культурный контекст [68].

Эти высказывания перекликаются с выводами Erenstein O. [78] и Kronen M. [79], которые утверждают, что не существует универсальных переменных для системы земледелия прямого посева – в любом случае, для каждой страны, для каждого региона эта система должна быть адаптирована.

Friedrich T. С соавторами считают, что на сегодняшний день основными причинами принятия системы no-till теми или иными странами являются: 1) повышение рентабельности сельскохозяйственного производства (снижение затрат на технику и топливо, экономия времени на операциях, которые позволяют развивать другие сельскохозяйственные и не сельскохозяйственные дополнительные виды деятельности); 2) гибкие технические возможности для посева, внесения удобрений и борьбы с сорняками; 3) стабильность получаемого урожая (как долгосрочный эффект); 4) защита почвы от водной и ветровой эрозии; 5) улучшение водного режима для засушливых регионов [22]. Эту систему начали интерпретировать для многолетних культур, таких как оливки, орехи и виноград, когда между их рядами используют культуры без обработки почвы.

Плуг стал символом сельского хозяйства и многим, включая фермеров, исследователей, преподавателей университетов и политиков трудно признать, что сельское хозяйство возможно без обработки почвы [56]. Поэтому у системы no-till есть не только свои сторонники, но и ярые противники.

Сторонники прямого посева неизменно подчеркивают его многочисленные преимущества, в то время как оппоненты акцентируют внимание на недостатках [57]. Вот как высказываются в своей статье Erenstein O. с соавторами по этому поводу: «Мы не сомневаемся в том, что земледелие возможно без обработки почвы, но, когда мы спрашиваем других людей – ученых и фермеров, является ли прямой посев лучшим подходом, чем традиционная система, реакции часто носят оборонительный характер. Нам кажется, что мы берем на себя роль еретика – язычника или неверующего, который осмеливается подвергать сомнению доктрину устоявшегося взгляда…» [56].

При внедрении прямого посева возникает масса вопросов – начиная от выбора сеялки и набора культур, который часто зависит от конъюнктуры (цен) рынка, использования покровных культур и многого другого. И, по мнению Белоброва В. П. с

соавторами, именно противоречивые научные результаты, полученные разными методами, являются одним из «камней преткновения» и ответом на вопрос – почему же no-till все еще широко не распространен в России [80].

Изучение новой системы в зоне рискованного земледелия Республики Крым, где выпадает недостаточное количество осадков и возделывают ограниченное количество культур, по мнению крымских ученых, весьма актуально [81]. Площади земель под no-till в Крыму в 2020 г. уже составили 52,2 тыс. га и продолжают неуклонно расти. Положительный опыт применения технологии прямого посева имеют агропредприятия Крыма: ООО «Обрий», ООО «Лобаново-Агро (Джанкойский район), ООО «Таврия-семена», КФХ «Агропростор», ЗАО «Фрегат», КФХ «Деметра», ООО «Альянс» (Советский район), ИП «Складонюк» (Бахчисарайский район), ПП «Феникс-плюс», ЧСП «Деметра», СПК «Днепр» (Красногвардейский район), ООО «Осавиахим», КФХ «Агро Вера» (Красноперекопский район), ООО «Крымская Нива» (Ленинский район), ООО «Юг-Рис» (Нижнегорский район), ФХ «Новое», ООО СПК «Агротехнология» Первомайский район, ООО «Алтей-А» (Раздольненский район), ФХ «Успех», ФХ «Драгми», ФХ «Сахалин» (Сакский район), ФХ «Флореаль», СК «Нива-Агро», ООО «Антей» (Симферопольский район), ООО «Сезам-Агро», ООО «Винал Люкс» (Черноморский район) и другие.

Стоит учесть тот факт, что система no-till в Крыму очень интересна с точки зрения сохранения плодородия почвы. Показано, что на целинном участке в с. Клепинино Красногвардейского района (отделение полевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма») содержание гумуса практически остается неизменным за последние 100 лет и составляет: в слое 0–10 см – 4,54 %, 10–20 – 3,76 %, 20–30 – 3,49 %, а на распаханных полях НИИСХ Крыма – 2,30; 2,28; 2,24 % соответственно [82]. По мнению крымских исследователей, обработка почвы, парование, технологические операции приводят к потерям гумуса. Ослабление почвенных агрегатов путем обработки почвы делает их более мобильными под действием воды и ветра.

Таким образом, в свете растущей поддержки no-till в качестве инструмента для решения глобальных целей в области продовольственной безопасности и устойчивости сельского хозяйства, дальнейшие изыскания являются весьма перспективным направлением. No-till-технология включает в себя не только изменение многих агрономических практик фермера, но и изменение мышления, направленное, чтобы преодолеть одну только мысль – «не использовать плуг».

Прямой посев является наукоемким и успех фермера с системой может зависеть от большого количества определяющих факторов. Внедрение готовой технологии, успешно развиваемой в одних странах (США, Австралия, Аргентина) в другие регионы, скорее всего, приведет к провалу. Поэтому необходимо ориентироваться на конкретный регион, а возможно, только на его отдельную часть, с определенным биоклиматическим потенциалом. Исследователи, работающие в разных странах, предлагают продолжить работу по выявлению причин снижения урожайности, часто наблюдаемых по системе прямого посева, и поиске путей ее предотвращения.

В заключении хотелось бы привести слова Montgomery D. R. который сказал: «…Обзор истории человечества и судьбы человеческих цивилизаций на протяжении тысячелетий развития человечества на Земле показал, что выживание цивилизаций напрямую связано с тем, как они обрабатывали свою почву. Каждый спад цивилизации сопровождался значительными эрозионными явлениями почвы, которые и сегодня могут быть геоморфологически доказаны. Поэтому принятие или неприятие технологии без обработки почвы становится вопросом долгосрочного выживания человеческой цивилизации в том виде, в каком мы понимаем это сегодня. Почва – это

самый основной из всех мировых ресурсов и она является сутью всей земной жизни и культурным наследием…» [83]. У нас есть выбор.

Литература

1. Amela A. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices? // Energy. 2011. Vol. 36. Iss. 4. P. 2070–2076. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.019
2. Perea-Moreno M.-A., Samerón-Manzano E., Perea-Moreno A.-J. Biomass as renewable energy: worldwide research trends // Sustainability. 2019. No. 11 (3). P. 863–870. DOI: 10.3390/su11030863.
3. Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., Mueller N. D., O'Connell C., Ray D. K., West P. C., Balzer C., Bennett E. M., Carpenter S. R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks P. M. Solutions for a cultivated planet // Nature. 2011. Vol. 478. Iss. 7369. P. 337–342. DOI: 10.1038/nature10452.
4. Dirzo R., Raven P. H. Global state of biodiversity and loss // Annual review of environment and resources. 2003. Vol. 28. P. 137–167. DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105532.
5. Ибатуллина Р. П., Галиев Р. К., Галимзянов М. С., Крошечкина И. Ю. Плодородие почвы: 7 лет с No-till // Селекция, семеноводство и генетика. 2018. № 1 (19). С. 17–21.
6. Hu J. Human alteration of the nitrogen cycle and its impact on the environment // IOP conference series: earth and environmental science. 2018. No. 178. P. 012–030. DOI: 10.1088/1755-1315/178/1/012030.
7. No-till – шаг к идеальному земледелию // Под ред. Батурина В. Киев: Зерно, 2007. 128 с.
8. Жученко А. А., Трухачев В. И. Системы земледелия Ставрополья. Ставрополь: «АГРУС». 2011. 844 с.
9. Godfray H. C. J., Garnett T. Food security and sustainable intensification // Philosophical transactions of the royal society. 2014. Vol. 369. P. 2012–2020. DOI: 10.1098/rstb.2012.0273.
10. Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture // Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America. 2011. Vol. 108. Iss. 50. P. 20260–20264. DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
11. Pittelkowa C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., van Groenigen K. J., Lee J., van Gestel N., Six J., Venterea R. T., van Kessel C. When does no-till yield more? A global meta-analysis // Field crops research. 2015. Vol. 183. P. 156–168. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020.
12. Anderson R. L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review // Agronomy for sustainable development. 2015. Vol. 25. Iss. 3. P. 967–974. DOI: 10.1007/s13593-015-0292-3.
13. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: a literature review // Soil & Tillage research. 2019. Vol. 189. P. 98–109. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.004.
14. De Castro Pias O. H., Tiecher T., Cherubin M. R., Mazurana M., Bayer C. Crop yield responses to sulfur fertilization in Brazilian No-till soils: a systematic review // Revista Brasileira de ciencia do solo. 2019. Vol. 43. P. 018–028. DOI: 10.1590/18069657rbcs20180078.
15. Sanaullah M., Usman M., Wakeel A., Cheema S. A., Ashraf I., Farooq M. Terrestrial ecosystem functioning affected by agricultural management systems: a review // Soil & Tillage research. 2020. Vol. 196. P. 104–112. DOI: 10.1016/j.still.2019.104464.
16. Dang Y. P., Moody P. W., Bell M. J., Seymour N. P., Dalal R. C., Freebairn D. M., Walker S. R. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment // Soil & Tillager research. 2015. Vol. 152. P. 115–123. DOI: 10.1016/j.still.2014.12.013.
17. Завалин А. А., Дридигер В. К., Белобров В. П., Юдин С. А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. 2018. № 2. С. 1506–1516. DOI: 10.1134/S0032180X18120146.
18. Павлов С. А., Попов А. С. No-till технологическая перспектива повышения продуктивности озимой пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2017. № 5 (53). С. 56–60.
19. Hamdy A., Aly A. Conservation agriculture between concept and application // Agrofor international journal. 2016. Vol. 1. Iss. No. 1. P. 202–215. DOI: 10.7251/AGRENG1601202H.
20. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits // International journal of agricultural and biological engineering. 2010. Vol. 3 No. 1. P. 1–25. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025.
21. Кокунова И. В., Котов Е. Г. Технология No-till – важнейшее направление ресурсосбережения в растениеводстве // Инновационная наука. 2017. № 2. С. 39–41.
22. Friedrich T. Kassam A., Derpsch R. Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture // Field actions science reports. 2012. Special Iss. 6. P. 1–7. DOI: 10.1080 / 00207233.2018.1494927.

23. Дридигер В. К. Почвозащитная роль технологий возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской Школы молодых ученых «Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства». Белгород: Белгородский федеральный аграрный научный центр РАН, 2019. С. 299–305.

24. Овсинский И. Е. Новая система земледелия. М., 1911. 288 с.

25. Masanobu F. The revolution of one straw (Introduction to conservation farming) // Ed. by Korn L. Eight impression. Manusa, Goa, India, 2001. 183 p. [Electronic resource]. Access point: https://www.ecologise.in/wp-content/uploads/2015/10/one-straw-revolution1.pdf (reference's date 20.06.2020).

26. Greenland D. J. Bringing the green revolution to the shifting cultivators // Science. 1975. Vol. 190. P. 841–844.

27. Lal R. Role of mulching techniques in tropical soil and water management // IITA technical bulletin. 1975. No. 1. 38 p.

28. Lal R. No tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria // Proceedings of the American mathematical society. 1976. No. 40. P. 762–768.

29. Kassam A. H., Friedrich T., Shaxson F. The spread of conservation agriculture: justification sustainability and uptake // International journal of agricultural sustainability. 2009. Vol. 7. P. 292–320.

30. Беляев В. И. Рациональные параметры технологии No-till и прямого посева при возделывании сельскохозяйственных культур в Алтайском крае // Вестник Алтайской науки. 2005. № 1. С. 7–12.

31. Цирулев А. П. Иксанов М. Р. Лесостепное Заволжье: разработка эффективных ресурсосберегающих агротехнологий // Ресурсосберегающее земледелие. 2009. № 1 (2). С. 17–23.

32. Кулинцев В. В., Дридигер В. К. Эффективность использования пашни и урожайность полевых культур при возделывании по технологии прямого посева // Достижение науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 16–18.

33. Минникова Т. В., Мокриков Г. В., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Колесников С. И. Оценка ферментной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Известия ТСХА. 2017. Вып. 6. С. 141–150. DOI 10.26897/0021-342X-2017-6-141-155.

34. Косолап Н. П., Кротинов О. П., Бескид А. П., Курдицкий С. О., Галяс А. В. Выращивание озимой пшеницы в Украине // Аграрный консультант. 2011. № 1. С. 44–46.

35. Князев Р. Каждый должен найти свой путь к No-till // Аграрный консультант. 2011. № 2. С. 31–34.

36. Mutekwa V., Kusangaya S. Contribution of rainwater harvesting technologies to rural livelihoods in Zimbabwe: the case of Ngundu ward in Chivi District // Water SA. 2006. Vol. 32. P. 437–444.

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

38. Дридигер В. К., Стукалов Р. С. Влияние минеральных удобрений на полевую всхожесть и урожайность озимой пшеницы при возделывании по технологии No-till // Вестник АПК Ставрополья. 2018. № 2 (30). С. 134–137. DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-134-137.

39. Гайдученко А. Н., Сюмак А. В., Коротенко Б. А. Экономическая эффективность возделывания сои в зависимости от применяемых технологий // Земледелие. 2017. № 2. С. 23–25.

40. Гонгало А. А., Турин Е. Н., Женченко К. Г. Изучение системы земледелия прямого посева в сравнении с традиционной в условиях Центральной степи Крыма // Материалы III научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В. И. Вернадского» в рамках III Фестиваля науки. Симферополь: ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», 2018. С. 120–125.

41. Турин Е. Н., Женченко К. Г., Гонгало А. А. Выращивание сорго зернового без обработки почвы в сравнении с традиционной технологией в Центральной степи Крыма // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 17 (180). С. 75–85.

42. Verhulst N., Govaerts B., Verachtert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalama M., Wall P., Deckers J., Sayre K. D. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? Chapter 7 // Food security and soil quality. USA. CRC Press. Boca Raton FL., 2010. P. 137–208. [Electronic resource]. Access point: https://www.researchgate.net/publication/228914498_7_Conservation_Agriculture_Improving_Soil_Quality_for_Sustainable_Production_Systems (reference's date 09.06.2020).

43. Six J., Feller C., Karolien D., Stephen M. O., de Moraes Sa J. C., Alain A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage // Agronomie. 2002. Vol. 22. No. 7–8. P. 755–775. DOI: 10.1051/agro:2002043.

44. Hobbs P. R., Sayre K., Gupta R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture // Philosophical transactions of the royal society British. 2008. Vol. 363. P. 543–555. DOI: 10.1098/rstb.2007.2169.

45. Охрытков В. В. Практика внедрения ресурсосберегающих технологий на основе системы No-till // Материалы международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в растениеводстве» Нальчик: КБГАУ, 2014. С. 131–138.

46. Ranaivoson L., Naudin K., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture // Agronomy for sustainable development. 2017. Vol. 37. Iss. 4. P.26–30. DOI: 10.1007/s13593-017-0432-z.

47. Vincent-Caboud L., Casagrande M., David C., Ryan M. R., Silva E. M., Peigne J. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review // Agronomy for sustainable development. 2019. Vol. 39. Iss. 5. P.45–51. DOI: 10.1007/s13593-019-0590-2.

48. Ghosh S., Das T. K., Sharma D. K., Gupta K. Potential of conservation agriculture for ecosystem services: A review // Indian journal of agricultural science. 2019. Vol. 89. Iss. 10. P. 1572–1579.

49. Mapfumo P., Chikowo R., Giller K. E., Mugendi D. N., Kimetu J. M., Palm C. A., Mutuo P. Closing the Loop: Identifying N sources and minimizing N losses in leguminous cropping systems. Final Project Report to the Rockefeller Foundation. Harare. University of Zimbabwe, 2001. 217 p.

50. Bedano J. C., Domínguez A. Large-scale agricultural management and soil meso- and macrofauna conservation in the Argentine Pampas // Sustainability. 2016. Vol. 8. Iss. 7. No. 653. P. 356–360. DOI: 10.3390/su8070653.

51. Косолап М. П., Кротінов О. П. Система землеробства No-till. Навчальний посібник. Київ: Логос, 2011. 351 с.

52. Sheehy J., Regina K., Alakukku L., Six J. Impact of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems // Soil and tillage research. 2015. Vol. 150. P. 107–113. DOI: 10.1016/j.still.2015.01.015.

53. Briones M. J. I., Schmidt O. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis // Global change biology. 2017. Vol. 23. Iss. 10. P. 4396–4419. DOI: 10.1111/gcb.13744.

54. Ritz K., Black H. I. J., Campbell C. D., Harris J. A., Wood C. Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development // Ecol Indic. 2009 Vol. 9. Iss. 6. P. 1212–1221. DOI: 10.1016/j.ecolind.2009.02.009.

55. Дридигер В. К., Стукалов Р. С., Гаджиумаров Р. Г. Влияние технологии возделывания полевых культур на противоэрозионную устойчивость, популяцию дождевых червей и содержание гумуса в почве // Сборник докладов Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В. В. Докучаева». Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2018. С. 144–148.

56. Erenstein O., Sayre K., Wall P., Hellin J., Dixon J. Conservation agriculture in Maize and Wheat-Based systems in the (Sub) tropics: Lessons from adaptation initiatives in South Asia, Mexico and Southern Africa // Journal of sustainable agriculture. 2012. Vol. 36. Iss. 2. P. 180–206. DOI: 10.1080/10440046.2011.620230.

57. Гассен Д., Гассен Ф. Прямой посев: путь к успеху начинается с первого верного шага // Ресурсосберегающее земледелие. 2012. № 4 (16). С. 7–11.

58. Six J., Ogle S. M., Breidt F. J., Conant R. T., Mosier A. R., Paustian K. The potential to mitigate global warming with no-tillage is only realized when practiced in the long-term // Global change biology. 2004. Vol. 10. P. 155–160. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x.

59. Van Kessel C., Venterea R., Six J., Adviento-Borbe M., Linquist B. A., Van Groenigen K. J. Climate, duration and N placement determine N_2O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis // Global change biology. 2013. Vol. 19 P. 33–44 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x.

60. Brouder S. M., Macpherson H. G. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence // Agriculture, ecosystems and environment. 2014. Vol. 187. P. 11–32. DOI: 10.1016/j.agee.2013.08.010.

61. Giller K. E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view // Field crops research. 2009. Vol. 114. P. 24–34. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.06.017.

62. Farooq M., Flower K. C., Jabran K., Wahid A., Siddique K. H. M. Crop yield and weed management in conservation agriculture // Field crops Research. 2011. Vol. 117. P. 172–183. DOI:10.1016/j.still.2011.10.001.

63. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Van Wijk M., Rufinio M. C., Nyamangara J., Giller K. E. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture practices on maize yields under rain-fed conditions // Agronomy for sustainable development. 2011. Vol. 31. P. 657–673.

64. Alvarez R., Steinbach H. S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas // Soil & Tillage research. 2009. Vol. 104. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.still.2009.02.005.

65. Ogle S. M., Swan A., Paustian K. No-till management impacts on crop productivity, Carbon input and soil carbon sequestration // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2012. Vol. 149. P. 37–49. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.010.

66. Toliver D. K., Larson J. A., Roberts R. K., English B. C., De La Torre Ugarte D. G., West T. O. Effects of no-till on yields as influenced by crop and environmental factors // Agronomy journal. 2012. Vol. 104. Iss. 2. P. 530–541. DOI: 10.2134/agronj2011.0291.

67. Van den Putte A., Govers G., Diels J., Gillijns K., Demuzerea M. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture // European journal of agronomy. 2010. Vol. 33. P. 231–241.

68. Pittelkowa C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., Van Groenigen K. J., Lee J., Van Gestel N., Six J., Rodney Venterea T., Van Kessel C. When does no-till yield more? A global meta-analysis // Field crops research. 2015. Vol. 183. P. 156–168. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.020.

69. Biamah E. K., Gichuki F. N., Kaumbutho P. G. Tillage methods and soil and water conservation in eastern Africa /// Soil & Tillage research. 1993. Vol. 27. P. 105–123.

70. Van den Putte A., Govers G., Diels J., Langhans C., Clymans W., Vanuytrecht E., Merckx R., Raes D. Soil functioning and conservation tillage in the Belgian Loam Belt // Soil & Tillage research. 2012. Vol. 122. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.still.2012.02.001.

71. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Van Wijk M. T., Rufino M. C., Nyamangara J., Giller K. E. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions (review) // Agronomy for sustainable development. 2011. Vol. 31. Iss. 4. P. 657–673. DOI: 10.1007/s13593-011-0040-2.

72. Cid P., Carmona I., Murillo J. M. No-tillage permanent bed planting and controlled traffic in a maize-cotton irrigated system under Mediterranean conditions: Effects on soil compaction, crop performance and carbon sequestration // European journal of agronomy. 2014. Vol. 61. P. 24–34. DOI: 10.1016/j.eja.2014.08.002.

73. Lal R. Tillage and agricultural sustainability // Soil and tillage research. 1991. Vol. 20. Iss.2–4. P. 133–146. DOI: 10.1016/0167-1987(91)90036-W.

74. Ken E., Giller K. E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P. Giller Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view // Field crops research. 2009. Vol. 114. P. 24–34. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.06.017.

75. Patrick C. Wall tailoring conservation agriculture to the needs of small farmers in developing countries. An analysis of issues // Journal of crop improvement. 2007. Vol. 19. Iss. 1–2. DOI: 10.1300/J411v19n01_07.

76. Hristovska T., Watkins K. B., Anders M. M. An economic risk analysis of no-till management for the rice-soybean rotation system used in Arkansas // Journal soil water conserve. 2013. Vol. 68. P. 132–137.

77. Leeuwis C. Communication for rural innovation. Rethinking agricultural extension (with contributions by A. Van den Ban). Blackwell science. Oxford. 2004. 243 p.

78. Erenstein O. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications // Soil and tillage research. 2002. Vol. 67. Iss. 2. P. 115–133. DOI: 10.1016/S0167-1987(02)00062-4.

79. Kronen M. Water harvesting and conservation techniques for smallholder crop production systems // Soil and tillage research. 1994. Vol. 32. P. 71–86.

80. Белобров В. П., Юдин С. А., Ермолаев Н. Р., Дридигер В. К., Стукалов Р. С., Гаджиумаров Р. Г. География прямого посева (no-till) в мировом земледелии // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения БГУ и 80-летию со дня рождения В. С. Аношко «Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование». Минск: БГУ, 2018. С. 198–203.

81. Проблемы и перспективы инновационного развития сельских территорий Крыма: коллективная монография // Под ред. Паштецкого В. С. Симферополь: ИТ «Ариал», 2019. 252 с.

82. Izotov A. M., Turin E. N., Turina E. L., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Susskiy A. N. Comparison of no-till and traditional technologies for *Triticum aestivum* L. cultivation // IOP conference series: earth and environmental science. Vol. 341. Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev, 2019. P. 012–020. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012087.

83. Montgomery D. R. Dirt, the erosion of civilizations. Berkely, Los Angeles and London: University of California Press, 2007. 285 p.

References

1. Amela A. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices? // Energy. 2011. Vol. 36. Iss. 4. P. 2070–2076. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.019.

2. Perea-Moreno M.-A., Samerón-Manzano E., Perea-Moreno A.-J. Biomass as renewable energy: worldwide research trends // Sustainability. 2019. No. 11 (3). P. 863–870. DOI: 10.3390/su11030863.

3. Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., Mueller N. D., O'Connell C., Ray D. K., West P. C., Balzer C., Bennett E. M., Carpenter S. R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks P. M. Solutions for a cultivated planet // Nature. 2011. Vol. 478. Iss. 7369. P. 337–342. DOI: 10.1038/nature10452.

4. Dirzo R., Raven P. H. Global state of biodiversity and loss // Annual review of environment and resources. 2003. Vol. 28. P. 137–167. DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105532.

5. Ibatullina R. P., Galiev R. K., Galimzyanov M. S., Kroshechkina I. Yu. Soil fertility: 7 years with No-till // Selection, seed production and genetics. 2018. No.1 (19). P. 17–21.

6. Hu J. Human alteration of the nitrogen cycle and its impact on the environment // IOP conference series: earth and environmental science. 2018. No. 178. P. 012–030. DOI: 10.1088/1755-1315/178/1/012030.

7. No-till – a step towards ideal farming // Ed. by Baturin V. Kiev: Zerno, 2007.1 28 p.

8. Zhuchenko A. A., Trukhachev V. I. Systems of agriculture in the Stavropol Territory. Stavropol: “AGRUS”, 2011. 844 p.

9. Godfray H. C. J., Garnett T. Food security and sustainable intensification // Philosophical transactions of the royal society. 2014. Vol. 369. P. 2012–2020. DOI: 10.1098/rstb.2012.0273.

10. Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture // Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America. 2011. Vol. 108. Iss. 50. P. 20260–20264. DOI: 10.1073/pnas.1116437108.

11. Pittelkowa C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., van Groenigen K. J., Lee J., van Gestel N., Six J., Venterea R. T., van Kessel C. When does no-till yield more? A global meta-analysis // Field crops research. 2015. Vol. 183. P. 156–168. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020.

12. Anderson R. L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review // Agronomy for sustainable development. 2015. Vol. 25. Iss. 3. P. 967–974. DOI: 10.1007/s13593-015-0292-3.

13. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review // Soil & Tillage research. 2019. Vol. 189. P. 98–109. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.004.

14. De Castro Pias O. H., Tiecher T., Cherubin M. R., Mazurana M., Bayer C. Crop yield responses to sulfur fertilization in Brazilian No-till soils: a systematic review // Revista Brasileira de ciencia do solo. 2019. Vol. 43. P. 018–028. DOI: 10.1590/18069657rbcs20180078.

15. Sanaullah M., Usman M., Wakeel A., Cheema S. A., Ashraf I., Farooq M. Terrestrial ecosystem functioning affected by agricultural management systems: a review // Soil & Tillage research. 2020. Vol. 196. P. 104–112. DOI: 10.1016/j.still.2019.104464.

16. Dang Y. P., Moody P. W., Bell M. J., Seymour N. P., Dalal R. C., Freebairn D. M., Walker S. R. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment // Soil & Tillager research. 2015. Vol. 152. P. 115–123. DOI: 10.1016/j.still.2014.12.013.

17. Zavalin A. A., Dridiger V. K., Belobrov V. P., Yudin S. A. Nitrogen in chernozems under traditional and direct seeding cropping systems: a review // Pochvovedenie. 2018. No. 2. P. 1506–1516. DOI: 10.1134/S0032180X18120146.

18. Pavlov S. A., Popov A. S. No-till technology as a promising method to improve productivity of winter wheat // Grain Economy of Russia. 2017. No. 5 (53). P. 56–60.

19. Hamdy A., Aly A. Conservation agriculture between concept and application // Agrofor international journal. 2016. Vol. 1. Iss. No. 1. P. 202–215. DOI: 10.7251/AGRENG1601202H.

20. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits // International journal of agricultural and biological engineering. 2010. Vol. 3 No. 1. P. 1–25. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025.

21. Kokunova I. V., Kotov E. G. No-till technology – the most important area of resource conservation in crop production // Innovation Science. 2017. No. 02–2. P. 39–41.

22. Friedrich T. Kassam A., Derpsch R. Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture // Field actions science reports. 2012. Special Iss. 6. P. 1–7. DOI: 10.1080 / 00207233.2018.1494927.

23. Dridiger V. K. Protective role of the technology of crops' cultivation without tillage (No-till technology) // Collection of works of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation and the All-Russian School of Young Scientists “Innovative Directions in the Chemicalization of Agriculture and Agricultural Production”. Belgorod, 2019. P. 299–305.

24. Ovsinskiy I. E. New farming system. Moscow, 1911. 288 p.

25. Masanobu F. The revolution of one straw (Introduction to conservation farming) // Ed. by Korn L. Eight impression. Manusa, Goa, India, 2001. 183 p. [Electronic resource]. Access point: https://www.ecologise.in/wp-content/uploads/2015/10/one-straw-revolution1.pdf (reference’s date 20.06.2020).

26. Greenland D. J. Bringing the green revolution to the shifting cultivators // Science. 1975. Vol. 190. P. 841–844.

27. Lal R. Role of mulching techniques in tropical soil and water management // IITA technical bulletin. 1975. No. 1. 38 p.

28. Lal R. No tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria // Proceedings of the American mathematical society. 1976. No. 40. P. 762–768.

29. Kassam A. H., Friedrich T., Shaxson F. The spread of conservation agriculture: justification sustainability and uptake // International journal of agricultural sustainability. 2009. Vol. 7. P. 292–320.

30. Belyaev V. I. Rational parameters of No-till technology and direct seeding when cultivating crops in the Altai Territory // Vestnik altaiskoy nauki. 2005. No. 1. P. 7–12.

31. Tsirulev A. P., Iksanov M. R. Forest-steppe Zavolzhye: development of effective resource-saving agricultural technologies // Resursosberegayushchee zemledelie. 2009-2. No. 1 (2). P. 17–23.

32. Kulintsev V. V., Dridiger V. K. Productivity of field crops and efficiency of use of arable land under cultivation by technology of direct seeding // Achievements of Science and Technology of AIC. 2014. No. 4. P. 16–18.

33. Minnikova T. V., Mokrikov G. V., Kazeev R. Sh., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I. Assessment of enzymatic activity of Rostov region chernozems used under binary crops of sunflower // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA). 2017. Iss. 6. P. 141–150. DOI: 10.26897/0021-342X-2017-6-141-155.

34. Kosolap N. P., Krotinov O. P., Beskid A. P., Kurditsky S. O., Galyas A. V. Cultivation of winter wheat in Ukraine // Agrarny Konsultant. 2011. No. 1 (1). P. 44–46.

35. Knyazev R. Everyone must find his/her own path to No-till // Agrarny Konsultant. 2011. No. 2 (2). P. 31–34.

36. Mutekwa V., Kusangaya S. Contribution of rainwater harvesting technologies to rural livelihoods in Zimbabwe: the case of Ngundu ward in Chivi District // Water SA. 2006. Vol. 32. P. 437–444.

37. Dridiger V.K., Stukalov R.S., Matveev A.G. Influence of soil type and its density on winter wheat yield, cultivated by No-till technology in the zone of unstable moistening of Stavropol Krai // Zemledelie. 2017. No.2. P. 19–22.

38. Dridiger V. K., Stukalov R. S. The influence of mineral fertilizers on the field germination and yield of winter wheat in the cultivation of No-till technology// Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2018. No. 2 (30). P. 134–137. DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-134-137.

39. Gaiduchenko A.N., Sumak A.V., Korotenko B.A. Economic efficiency of soybean cultivation depending on applied technologies// Zemledelie. 2017. No. 2. P. 23–25.

40. Gongalo A. A., Turin E. N., Zhenchenko K. G. Study of the system of agriculture direct sowing in comparison with traditional in the conditions of the central steppe of Crimea // III Scientific Conference of the faculty, graduate students, students and young scientists “Days of Science in the V. I. Vernadsky Crimean Federal University” in the framework of the III Festival of Science. Simferopol: V. I. Vernadsky Crimean Federal University, 2018. P. 120–125.

41. Turin E. N., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A. Grain sorghum cultivation under no tillage compared to conventional tillage in the central steppe of Crimea // Transactions of Taurida Agricultural Science. 2019. No. 17 (180). P. 75–85.

42. Verhulst N., Govaerts B., Verachtert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalama M., Wall P., Deckers J., Sayre K. D. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? Chapter 7 // Food security and soil quality. USA. CRC Press. Boca Raton FL., 2010. P. 137–208. [Electronic resource]. Access point: https://www.researchgate.net/publication/228914498_7_Conservation_Agriculture_Improving_Soil_Quality_for_Sustainable_Production_Systems (reference’s date 09.06.2020).

43. Six J., Feller C., Karolien D., Stephen M. O., de Moraes Sa J. C., Alain A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage // Agronomie. 2002. Vol. 22. No. 7–8. P. 755–775. DOI: 10.1051/agro:2002043.

44. Hobbs P. R., Sayre K., Gupta R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture // Philosophical transactions of the royal society British. 2008. Vol. 363. P. 543–555. DOI: 10.1098/rstb.2007.2169.

45. Okhrytkov V. V. Introduction of resource-saving technologies based on the No-till // Materials of the International Scientific-Practical Conference “Resource-saving technologies in crop production”. Nalchik: Kabardino-Balkaria SAU, 2014. P. 131–138.

46. Ranaivoson L., Naudin K., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture // Agronomy for sustainable development. 2017. Vol. 37. Iss. 4. P.26–30. DOI: 10.1007/s13593-017-0432-z.

47. Vincent-Caboud L., Casagrande M., David C., Ryan M. R., Silva E. M., Peigne J. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review // Agronomy for sustainable development. 2019. Vol. 39. Iss. 5. P.45–51. DOI: 10.1007/s13593-019-0590-2.

48. Ghosh S., Das T. K., Sharma D. K., Gupta K. Potential of conservation agriculture for ecosystem services: A review // Indian journal of agricultural science. 2019. Vol. 89. Iss. 10. P. 1572–1579.

49. Mapfumo P., Chikowo R., Giller K. E., Mugendi D. N., Kimetu J. M., Palm C. A., Mutuo P. Closing the Loop: Identifying N sources and minimizing N losses in leguminous cropping systems. Final Project Report to the Rockefeller Foundation. Harare. University of Zimbabwe, 2001. 217 p.

50. Bedano J. C., Domínguez A. Large-scale agricultural management and soil meso- and macrofauna conservation in the Argentine Pampas // Sustainability. 2016. Vol. 8. Iss. 7. No. 653. P. 356–360. DOI: 10.3390/su8070653.

51. Kosolap M. P., Krotinov O. P. No-till farming system. Tutorial. Kiev: Logos, 2011. 351 p.

52. Sheehy J., Regina K., Alakukku L., Six J. Impact of no-till and reduced tillage on aggregation and aggregate-associated carbon in Northern European agroecosystems // Soil and tillage research. 2015. Vol. 150. P. 107–113. DOI: 10.1016/j.still.2015.01.015.

53. Briones M. J. I., Schmidt O. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis // Global change biology. 2017. Vol. 23. Iss. 10. P. 4396–4419. DOI: 10.1111/gcb.13744.

54. Ritz K., Black H. I. J., Campbell C. D., Harris J. A., Wood C. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development // Ecol Indic. 2009 Vol. 9. Iss. 6. P. 1212–1221. DOI: 10.1016/j.ecolind.2009.02.009.

55. Dridiger V. K., Stukalov R. S., Gadzhiumarov R. G. Influence of cultivation technology on anti-erosion resistance, earthworm population and soil humus content // Collection of reports of the International Scientific-Practical Conference of Kursk branch of MOO "Society of soil scientists named after V. V. Dokuchaev". Kursk: Kursk Federal Agricultural Scientific Center, 2018. P. 144–148.

56. Erenstein O., Sayre K., Wall P., Hellin J., Dixon J. Conservation agriculture in maize and wheat-based systems in the (sub) tropics: lessons from adaptation initiatives in South Asia, Mexico and Southern Africa // Journal of sustainable agriculture. 2012. Vol. 36. Iss. 2. P. 180–206. DOI: 10.1080/10440046.2011.620230.

57. Gassen D., Gassen F. Direct sowing: the path to success begins with the first right step// Resursosberegayushchee zemledelie. 2012. No. 4 (16). P. 7–11.

58. Six J., Ogle S. M., Breidt F. J., Conant R. T., Mosier A. R., Paustian K. The potential to mitigate global warming with no-tillage is only realized when practiced in the long-term // Global change biology. 2004. Vol. 10. P. 155–160. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x.

59. Van Kessel C., Venterea R., Six J., Adviento-Borbe M., Linquist B. A., Van Groenigen K. J. Climate, duration and N placement determine N_2O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis // Global change biology. 2013. Vol. 19 P. 33–44 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x.

60. Brouder S. M., Macpherson H. G. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence // Agriculture, ecosystems and environment. 2014. Vol. 187. P. 11–32. DOI: 10.1016/j.agee.2013.08.010.

61. Giller K. E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view // Field crops research. 2009. Vol. 114. P. 24–34. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.06.017.

62. Farooq M., Flower K. C., Jabran K., Wahid A., Siddique K. H. M. Crop yield and weed management in conservation agriculture // Field crops Research. 2011. Vol. 117. P. 172–183. DOI:10.1016/j.still.2011.10.001.

63. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Van Wijk M., Rufinio M. C., Nyamangara J., Giller K. E. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture practices on maize yields under rain-fed conditions // Agronomy for sustainable development. 2011. Vol. 31. P. 657–673.

64. Alvarez R., Steinbach H. S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas // Soil & Tillage research. 2009. Vol. 104. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.still.2009.02.005.

65. Ogle S. M., Swan A., Paustian K. No-till management impacts on crop productivity, Carbon input and soil carbon sequestration // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2012. Vol. 149. P. 37–49. DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.010.

66. Toliver D. K., Larson J. A., Roberts R. K., English B. C., De La Torre Ugarte D. G., West T. O. Effects of no-till on yields as influenced by crop and environmental factors // Agronomy journal. 2012. Vol. 104. Iss. 2. P. 530–541. DOI: 10.2134/agronj2011.0291.

67. Van den Putte A., Govers G., Diels J., Gillijns K., Demuzerea M. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture // European journal of agronomy. 2010. Vol. 33. P. 231–241.

68. Pittelkowa C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., Van Groenigen K. J., Lee J., Van Gestel N., Six J., Rodney Venterea T., Van Kessel C. When does no-till yield more? A global meta-analysis // Field crops research. 2015. Vol. 183. P. 156–168. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.020.

69. Biamah E. K., Gichuki F. N., Kaumbutho P. G. Tillage methods and soil and water conservation in eastern Africa /// Soil & Tillage research. 1993. Vol. 27. P. 105–123.

70. Van den Putte A., Govers G., Diels J., Langhans C., Clymans W., Vanuytrecht E., Merckx R., Raes D. Soil functioning and conservation tillage in the Belgian Loam Belt // Soil & Tillage research. 2012. Vol. 122. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.still.2012.02.001.

71. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Van Wijk M. T., Rufino M. C., Nyamangara J., Giller K. E. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions (review) // Agronomy for sustainable development. 2011. Vol. 31. Iss. 4. P. 657–673. DOI: 10.1007/s13593-011-0040-2.

72. Cid P., Carmona I., Murillo J. M. No-tillage permanent bed planting and controlled traffic in a maize-cotton irrigated system under Mediterranean conditions: Effects on soil compaction, crop performance and carbon sequestration // European journal of agronomy. 2014. Vol. 61. P. 24–34. DOI: 10.1016/j.eja.2014.08.002.

73. Lal R. Tillage and agricultural sustainability // Soil and tillage research. 1991. Vol. 20. Iss.2–4. P. 133–146. DOI: 10.1016/0167-1987(91)90036-W.

74. Ken E., Giller K. E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P. Giller Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view // Field crops research. 2009. Vol. 114. P. 24–34. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.06.017.

75. Patrick C. Wall tailoring conservation agriculture to the needs of small farmers in developing countries. An analysis of issues // Journal of crop improvement. 2007. Vol. 19. Iss. 1–2. DOI: 10.1300/J411v19n01_07.

76. Hristovska T., Watkins K. B., Anders M. M. An economic risk analysis of no-till management for the rice-soybean rotation system used in Arkansas // Journal soil water conserve. 2013. Vol. 68. P. 132–137.

77. Leeuwis C. Communication for rural innovation. Rethinking agricultural extension (with contributions by A. Van den Ban). Blackwell science. Oxford. 2004. 243 p.

78. Erenstein O. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications // Soil and tillage research. 2002. Vol. 67. Iss. 2. P. 115–133. DOI: 10.1016/S0167-1987(02)00062-4.

79. Kronen M. Water harvesting and conservation techniques for smallholder crop production systems // Soil and tillage research. 1994. Vol. 32. P. 71–86.

80. Belobrov V. P., Yudin S. A., Ermolaev N. R., Dridiger V. K., Stukalov R. S., Gadzhiumarov R. G. Geography of direct seeding (no-till) in world agriculture// Collection of works of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 85th anniversary of the Department of Soil Science of the Belarusian State University and the 80th anniversary V. S. Anoshko's date of birth "Soils and land resources: current state, issues of rational use, geoinformation mapping". Minsk: Belarusian State University, 2018. P. 198–203.

81. Problems and prospects of innovative development of rural territories of the Crimea: collective monograph/ ed. by Pashtetskiy V.S. Simferopol: "Arial", 2019. 252 p.

82. Izotov A. M., Turin E. N., Turina E. L., Zhenchenko K. G., Gongalo A. A., Susskiy A. N. Comparison of no-till and traditional technologies for *Triticum aestivum* L. cultivation // IOP conference series: earth and environmental science. Vol. 341. Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev, 2019. P. 012–020. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012087.

83. Montgomery D. R. Dirt, the erosion of civilizations. Berkely, Los Angeles and London: University of California Press, 2007. 285 p.

UDC 631.51.01(100)

Turin E. N.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF NO-TILL FARMING AROUND THE WORLD (REVIEW)

Summary. *There is a growing demand for agricultural crops worldwide. Furthermore, the demand for these products is expected to continue to rise in the coming decades. This phenomenon can be explained by the growth of the world population. Agriculture remains the main source of raw materials for many industries. Consequently, a systemic understanding of the links between biophysical processes, human activities and socio-economic objectives is required in order to satisfy the increasing demand for food. Herewith, agriculture should remain conservation. In this respect, no-till technology becomes a matter of increasing interest around the world among farmers and scientists. Land area under this new system increases annually by about 6 million hectares. In the Russian Federation, cultivated areas without tillage, according to various estimates, range from 1.5 to 2.0 million ha. In light of the growing support of no-till as a tool to meet the global goals of food security and sustainability of crop production, we attempted to summarize the available modern scientific experience. Thus, the aim of this review was to identify the advantages and disadvantages of the new system of agriculture. A number of positive (environmental, economic, etc.) and negative aspects of the direct seeding around the world were described. Three basic principles of zero tillage were identified. They are the minimal disturbance of the topsoil, the preservation of crop residues, and the use of adapted crop rotation. Data on the effect of direct sowing on crop yields in various countries were presented. No-till is a knowledge-intensive technology. Therefore, it is necessary to focus on the scientific results obtained in a particular region with a specific bioclimatic potential.*

Keywords: *direct seeding, agricultural technique, no-till, tillage, zero-till.*

Турин Евгений Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: turin_e@niishk.ru.

Turin Evgeniy Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agriculture, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150 Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295453, Russian Federation; e-mail: turin_e@niishk.ru.

Дата поступления в редакцию – 17.02.2020.
Дата принятия к печати – 20.04.2020.