

УДК 502/504+579.6:574.64

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ: ОТ «СЕРЫХ» ДО «ЗЕЛЕННЫХ»¹

© 2020 г. Е.М. Гусев

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: sowaso@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.03.2018. После доработки 12.08.2019. Принята к публикации 30.09.2019

Рассмотрена эволюция сельскохозяйственных технологий в процессе развития человеческой цивилизации. На ее примере показано, что в XX веке начался новый этап технологии обработки почвы, связанный с переходом от «серых» экстенсивных технологий управления природными ресурсами, жестко ориентированным только на сиюминутную экономическую целесообразность, на нетрадиционные (природоохранные, природоподобные – «nature-based») «green» технологии земледелия. Произошел закономерный переход от стратегии ее развития, основанной на принципе максимума производства энтропии Г. Циглера, к стратегии минимума производства энтропии И. Пригожина, в основе которого лежит рационализация использования доступных ресурсов для такой диссипативной структуры планеты, как человеческая популяция. Фундаментом рационализации служат природоподобные технологии использования человеком природных ресурсов. На примере долговременного биосферного эксперимента развития сельскохозяйственных технологий подтверждено теоретическое обоснование неизбежности «зеленого земледелия». Такой тип земледелия характеризуется более экономичным способом обработки почвы: частичным или полным отказом от отвальной вспашки, отсутствием вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальным нарушением почвенного покрова сельскохозяйственными машинами и обязательным мульчированием почвы («no-till» или «mulch tillage») с целью сохранения почвенной влаги и уменьшения эрозии почвы. Система нулевой обработки почвы (не пахать – «no-till»), т.е. отсутствие вмешательства в естественные процессы почвообразования, – это современная система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а её поверхность укрывается специально измельчёнными остатками растений – мульчей. Проиллюстрировано, что в настоящее время в различных регионах планеты внедряется технология прямого посева «no-till» и мульчирования, при этом используют мелкое, поверхностное рыхление или даже полный отказ от обработки почвы. Показано, что применение технологий «зеленого земледелия» ведет не только к рационализации использования энергетических и почвенных ресурсов, но и водных, ситуация с которыми становится все более напряженной для человеческой цивилизации.

Ключевые слова: принцип максимума производства энтропии Г. Циглера, принцип минимума производства энтропии И. Пригожина, эволюция технологий земледелия, зеленое земледелие, no-till, мульчирование.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10078

Данная статья является продолжением работы, ранее опубликованной автором (Гусев, 2019) и посвященной теоретическому физико-экологическому обоснованию неизбежности применения в различных областях человеческой деятельности так называемых «зеленых технологий», в том числе в рассматриваемых в настоящей статье сельском и водном хозяйствах. В предыдущей работе (Гусев, 2019) обоснован переход в указанных областях человеческой деятельности от традиционных, так называемых «серых» технологий (Palmer et al., 2015) управления природными ресурсами, жестко

¹ Работа выполнена в рамках темы № 0147-2018-0001 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090056-0) Государственного задания ИВП РАН (раздел «Краткое изложение теоретических основ неизбежности перехода к технологиям “зеленого земледелия”») и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-17-10039; разделы «Эволюция технологий земледелия» и «Выводы»).

ориентированных только на сиюминутную экономическую целесообразность, к нетрадиционным (природоохранным, природоподобным, «nature-based», «green»; Palmer et al., 2015) технологиям. Необходимость такого перехода все чаще обсуждается в литературе (ряд работ приведен в упомянутой статье Е.М. Гусева (2019), в международных программных докладах (Sustainable Management ..., 2010; WWAP, 2018), на различных международных конференциях и симпозиумах (XII Международный форум «Зеленая экономика», состоявшийся 21-23 мая 2018 года в Санкт-Петербурге). Это обстоятельство подчеркивает необходимость перехода к принципам и технологиям «зеленой экономики». Цель настоящей работы – на примере развития человеческой цивилизации продемонстрировать эволюцию сельскохозяйственных технологий, которая ведет в ближайшем будущем к ориентации сельского хозяйства на использование природоподобной («nature-based») агротехники, и тем самым подтвердить на примере фактически долговременного биосферного эксперимента представленное в предыдущей статье (Гусев, 2019) теоретическое обоснование неизбежности «зеленого земледелия».

Краткое изложение теоретических основ неизбежности перехода к технологиям «зеленого земледелия». В предыдущей работе (Гусев, 2019) дано физическое обоснование основных законов экологии Б. Коммонера (1974), являющихся ориентиром создания технологий рационального использования природных ресурсов. Показано, что эволюция диссипативных структур на Земле, к которым относятся в том числе и живые организмы, и надорганизменные системы, на разных этапах развития подчиняется двум фундаментальным принципам: принципу максимального производства энтропии Г. Циглера (1966) и принципу минимума производства энтропии И. Пригожина (Гленсдорф, Пригожин, 1973), периодически преобладающими друг над другом во время появления, эволюции и разрушения различных структур биосферы планеты. В первой статье (Гусев, 2019) продемонстрировано, что человечество на современном этапе голоцена оказалось именно в ситуации действия принципа И. Пригожина – ситуации необходимости и неизбежности рационального использования человечеством доступных ему ресурсов, включая области сельского хозяйства и связанного с ним сектора водного хозяйства. Данное обстоятельство неизбежно ведет к использованию человечеством стратегии «зеленого земледелия». Проявляется это через переход в сельском хозяйстве от традиционных «серых» технологий управления природными ресурсами, жестко ориентированных на максимальное их использование (согласно *принципу максимального производства энтропии Г. Циглера*), на нетрадиционные (природоохранные, природоподобные – «nature-based») «зеленые», «green» технологии. Технологии, основанные на использовании природных или близких к ним (природоподобных) процессов, обеспечивают меньшее производство энтропии, т.е. вносят меньше разрушения в биосферу, чем созданные разумом человека техногенные «серые» технологии, поскольку природные процессы с точки зрения *минимума производства энтропии И. Пригожина*, уже были оптимизированы Природой в конце предыдущего шага эволюции Земли (в отсутствие человека). Поэтому на данном этапе голоцена, когда ресурсы доступной человечеству (как наиболее активной диссипативной структуры планеты) энергии истощаются и на первый план выходит рационализация использования этих ресурсов (очередной в процессе эволюции Земли этап действия принципа И. Пригожина), появление таких технологий, ориентированных на постулате Б. Коммонера «природа знает лучше», просто неизбежно.

Эволюция технологий земледелия: этап действия принципа Г. Циглера. Попытаемся указанные выше теоретические выводы подтвердить «экспериментально», т.е. подтвердить на основе своеобразного долговременного биосферного эксперимента развития человеческой цивилизации на планете, рассмотрев эволюцию технологий земледелия, развитие которого началось более 10 тыс. лет назад.

Исследований по эволюции технологий земледелия очень много (Краснов, 1968; Андрианов, 1978; Шпаковский, 2007; Мареев, 2014; Бобровский, Гин, 2006; Скорняков, 1977; Гумилев, 1994; Noulin, 1995). Основываясь на этих исследованиях, мы попытаемся продемонстрировать, как в период развития земледелия произошел переход от технологий обработки почвы и использования ирригации, в основе которых лежал принцип максимума производства энтропии Г. Циглера, на технологии, основанные на принципе минимума производства энтропии И. Пригожина.

Земледелие существовало уже в то время, когда еще практически отсутствовали специальные почвообрабатывающие орудия. Зерна сеяли в землю без всякой обработки, создавая лунки для них заостренной палкой. Фактически это и была нулевая обработка почвы, только на примитивном

уровне. Так действовали инки Анд Южной Америки, древние египтяне и самые первобытные культуры по всему миру (рис.). Борьба с сорняками и удобрение почвы осуществлялось фактически одновременно: поджигали дикую растительность на месте будущего поля. Она сгорала, а оставшаяся зола служила прекрасным удобрением.

Как отмечается в работе Н.А. Шпаковского (2007), следующим шагом в земледелии стало использование сохи, которую тянули люди или животные. Применение сохи, позволившей создавать вместо лунок узкие борозды, подняло производительность обработки почвы, но технология возделывания зерновых при этом мало изменилась.

Развитие на планете такой активной диссипативной структуры, как человеческая популяция (Гусев, 2019), рост численности населения наряду с увеличением площадей сельскохозяйственных угодий требовали еще большего повышения урожайности сельскохозяйственных посевов. В связи с этим в земледелии возникла такая технология, как плужная обработка почвы (рис.).



Рис. Схематизация эволюции технологий обработки почвы (Шпаковский, 2007; Мареев, 2014; Гусев, 2019).

Хотя плуг появился еще до нашей эры (в Древней Греции, в Китае), он имел мало общего с современным плугом. Плуги, которые переворачивали слои почвы и таким образом способствовали борьбе с сорняками, не разрабатывались до XVII в. (Дерти, 2016; Бобровский, Гин, 2006). С XVIII в. конструкция плугов усложнялась, и в конце XVIII в. в Германии, Голландии и Великобритании появился отвальный плуг, который переворачивал почву под углом 135° и являлся эффективным

средством для борьбы с сорняками. Верхняя часть пахотного слоя в этом случае сбрасывалась в борозду, а на поверхность выворачивался нижний, рыхлый слой. Глубокая вспашка на первых порах способствовала накоплению в почве влаги, уничтожению сорняков и вредителей культурных растений и усиливала жизнедеятельность полезных микроорганизмов. Поскольку современный плуг спас Европу от голода и бедности (победив распространившегося по всей территории Европы пырея ползучего), он стал синонимом «современного» сельского хозяйства и используется в таком понимании многими представителями сельскохозяйственных школ, исследовательских институтов, университетов и прочих (Дерти, 2016). Европейские колониальные державы способствовали перенесению плуга в Северную и Южную Америку, Азию, Африку, где он стал важным орудием обработки почвы.

Таким образом, описанный выше этап эволюции технологий экстенсивного земледелия, направленный на удовлетворение растущих потребностей человеческой популяции, логично развивался *в соответствии с принципом максимума производства энтропии Г. Циглера*. Плужная обработка почвы требовала значительно более высоких энергетических затрат, чем предыдущие технологии земледелия (использование энергии тягловых животных, а затем тракторов). Соответственно, росла и диссипация энергии, т.е. рост производства энтропии в системе сельскохозяйственного производства. Повышение урожайности оставалось самым важным требованием, и экстенсивный путь развития земледелия, основанный на типично технократических «серых» технологиях, казался единственно правильным. Работал принцип максимума производства энтропии, требующий использования в сельском хозяйстве все больших ресурсов: энергетических, почвенных, водных. Технология обработки почвы включала все новые дополнительные операции. Технология, применявшаяся в середине XX века, включала вспашку, несколько культиваций, боронование и предпосевное выравнивание. Затем следовали посев и дополнительное прикатывание почвы (рис.). Мощность тракторов, глубина вспашки и ширина захвата плугов постоянно росли.

При этом также росли затраты, связанные с использованием в земледелии водных ресурсов. Орошаемое земледелие, как и обработка почвы, эволюционировало в сторону большего использования энергетических затрат на основе применения «серых» технологий. Ирригационные системы, появившиеся в Древнем Египте, Месопотамии, Китае, Передней Азии и бывшие при этом достаточно простыми, на современном этапе включают элементы организации водозабора, создания искусственных каналов, конструирования распределительной и оросительной сети, водорегулирующих устройств, использования специальной техники и т.п. (Irrigation, 2019). Особенно широко ирригационное земледелие распространено в странах аридной зоны (Северная Африка, Сахара, юг Европы, Передняя, Средняя и Южная Азия, Южная Америка и др.). Оно также требовало все большего использования человечеством энергетических и других природных ресурсов.

Таким образом, до середины XX в. эволюция земледелия, подчиняясь принципу максимума производства энтропии Г. Циглера, шла по пути все большего использования свободной энергии, поступающей с солнечным излучением и запасенной в элементах окружающей среды (газе, нефти, угле, сапропеле, гумусе). Но в конце концов указанная эволюция логично подошла к моменту смены приоритета принципа Г. Циглера на приоритет принципа И. Пригожина (Гусев, 2019). Увеличение возможностей использования свободной энергии, особенно за счет ресурсов окружающей среды, подошло к своему пределу.

Эволюция технологий земледелия: начало этапа действия принципа И. Пригожина. Человечество оказалось в ситуации, когда на продукцию сельского хозяйства тратятся огромные ресурсы, в первую очередь энергоносители, затраты труда на проведение большого числа операций превышают все мыслимые пределы. Состояние биосферы выведено из стабильного: верхний слой почвы разрыхлен, как пух, слой ниже плужной подошвы сильно переуплотнен колесами тракторов (Скуратович, 2007), в аридных областях вспаханный плодородный слой уносится с полей пылевыми бурями, оставляя за собой пустыню, происходит массовое сведение лесов под сельскохозяйственные угодья, эрозия почв охватила десятки миллионов гектаров, произошла деградация почв вследствие их засоления на больших площадях орошаемых земель, содержание гумуса даже в лучших черноземах упало с 10-12 до 5-6% (Шпаковский, 2007).

Таким образом, для поддержания и сохранения своего гомеостаза человечество вынуждено переходить к этапу, когда на первый план выходит принцип минимума производства энтропии И. Пригожина, ориентирующий развитие соответствующей диссипативной структуры (в данном

случае человеческой популяции) на путь рационального использования имеющихся ресурсов. А данная стратегия, как показано ранее (Гусев, 2019), основана на так называемой «зеленой экономике» (European Commission ..., 2013; Hall, Dorai, 2010; Palmer et al., 2015; WWAP, 2018), базирующейся на следующих постулатах: невозможно бесконечно расширять сферу влияния в ограниченном пространстве, невозможно требовать удовлетворения бесконечно растущих потребностей человека в условиях ограниченности ресурсов, технологии использования природных ресурсов в своей реализации должны быть ориентированы на *принципы и закономерности, заложенные природой* и доказавшие свою эффективность сотнями миллионов лет существования жизни на Земле.

Эмпирически понимание необходимости ориентации земледелия на технологии, основанные на использовании природных или природоподобных процессов, т.е. необходимости перехода от «серых» технологий на «зеленые», возникло и стало развиваться в XX в. Одним из основоположников почвозащитной системы земледелия, показавших ненужность и вредность плуга, был русский ученый-агроном И.Е. Овсинский (2004). В своей работе, опубликованной еще в 1909 г., он писал, что при глубокой вспашке затрачиваются громадные суммы на увеличение тяглового усилия, на удобрения, количество которых при рациональной обработке можно значительно уменьшить или же совсем не применять, теряются миллиарды рублей вследствие неурожаев при засухе, которая разоряет хозяйство при глубокой вспашке. Он отмечал, что знаменитый Ф. Крупп своими снарядами для военного разрушения не принес столько вреда человечеству, сколько принес завод плугов для отвальной вспашки, и что никакие военные контрибуции не сравняются с теми убытками, которые приносит земледелию глубокая вспашка. Справедливости ради следует сказать, первые указания о роли органической мульчи в рационализации земледелия и необязательности пахоты дал лет за двадцать до И.Е. Овсинского русский ученый-энциклопедист Д.И. Менделеев (1991).

На западе развитие ресурсосберегающего земледелия связано с именем Эдварда Фолкнера. Его можно назвать «американским Овсинским» – так схожи их системы земледелия. Опыты Э. Фолкнера в штате Огайо в 30-е годы XX в. показали ошеломляющие результаты в улучшении структуры почвы и повышении ее плодородия. В 1943 году в США вышла его книга «Безумие пахаря» (Faulkner, 1943), посвященная вопросам обработки почвы. В ней Э. Фолкнер критикует плужную обработку почвы, считая ее вреднейшим приемом, приведшим земледелие США и других стран к упадку, бесплодию почв и многим другим бедам. Фактически с публикации «Безумия пахаря» в США начинается внедрение ресурсосберегающих технологий в земледелие. В СССР идеи и предложения Фолкнера позднее получили отражение в системах земледелия, разработанных Т.С. Мальцевым (Иванов, 1977) для Зауралья, а также А.И. Бараевым (1975) для Казахстана и Сибири.

С работ указанных выше исследователей начался поворот в земледелии на так называемые нетрадиционные (адаптивные, почвозащитные, природоохранные, минимальные, нулевые, «green», «no-till») технологии обработки почвы (рис.; Ломакин, 1988; Scopel et al., 2004; Батурин, 2007; Двуреченский, 2009; Мареев, 2014; Hall, Dorai, 2010; Доманов, 2017; Palmer et al., 2015; Balwinder-Singha et al., 2016). В настоящее время использование указанных технологий становится все более широким, особенно в аридных и полуаридных регионах. Эти агротехнологии характеризуются более экономичными способами обработки почвы: частичным или полным отказом от отвальной вспашки, отсутствием вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальным нарушением почвенного покрова сельскохозяйственными машинами и обязательным мульчированием почвы («no-till» или «mulch tillage») с целью сохранения почвенной влаги и уменьшения эрозии почвы. Система нулевой обработки почвы – современная система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а ее поверхность укрывается специально измельченными остатками растений – мульчей. В различных регионах планеты внедряется технология прямого посева «no-till» и мульчирования, при этом используют мелкое, поверхностное рыхление или даже полный отказ от обработки почвы (Сельскохозяйственные экосистемы, 1987; Hall, Dorai, 2010). При этом важно, что ряд производственных операций в целях экономии энергии совмещается во времени, т.е. производится одновременно (рис.).

Как было указано выше, «no-till» технологии очень эффективны с точки зрения сохранения почвенных ресурсов. Так, отмечается, что только при безотвальной обработке почвы по оценкам некоторых авторов (Работа водных потоков, 1987; Kirkby, Morgan, 1980), полученным на экспериментальном материале, смыв почвы в период снеготаяния снижается в два раза, а вызванный

ливневым стоком – в 1.7 раза. По данным, полученным в Молдавии (Константинов, 1987) и США (Kirkby, Morgan, 1980), применение другого элемента «no-till» – мульчирование поверхности почвы соломой даже в количестве 4-6 т/га снижает эрозию в 8-10 раз. Одно из главных условий «no-till» технологии – создание на почве «одеяла» из пожнивных остатков. При этом процесс образования мульчирующего слоя из растительных остатков может длиться несколько лет. После создания мульчи биоценоз в почве постепенно восстанавливается и работает на воспроизводство ее плодородия. При использовании нулевых технологий более 20 лет достигается идеальная ситуация для почвы: высокий круговорот питательных элементов, высокий коэффициент содержания углерода, минимизация использования минеральных удобрений для получения урожая и *практически полное исключение почвенной эрозии* (Сафин и др., 2013, 2014).

Следует отметить, что применение «no-till» технологий ведет не только к рационализации использования энергетических и почвенных ресурсов, но и водных, ситуация с которыми становится все более напряженной для человеческой цивилизации. Так, в программном Всемирном докладе Организации Объединенных Наций о состоянии водных ресурсов (WWAP, 2018) говорится, что человечеству нужны новые решения для управления водными ресурсами, чтобы компенсировать растущие вызовы водной безопасности в условиях роста населения и изменения климата. Примером одного из таких решений является «ресурсосберегающее земледелие». При этом в докладе ООН (WWAP, 2018) утверждается, что, хотя природоподобные технологии предполагают значительные достижения в ирригации, *основным направлением должно стать увеличение урожайности в богарных системах, не нарушающих естественную циркуляцию гидрологического цикла*.

Таким образом, на примере сельского хозяйства мы видим, что в XX в. начался новый этап в эволюции такой диссипативной структуры на планете, как человеческая популяция. Произошел закономерный переход стратегии ее развития, основанной на принципе максимума производства энтропии Г. Циглера, к стратегии минимума производства энтропии И. Пригожина, в основе которого лежит рационализация использования диссипативной структуры доступных ресурсов. Фундаментом рационализации служат природоподобные, «nature-based» технологии (WWAP, 2018) использования человеком природных ресурсов.

Хотя справедливости ради надо отметить, что технологии без вспашки включают элемент и традиционной «серой» технологии. Это относится к проблеме борьбы с сорняками. Конечно, частично она решается за счет весенней обработки почвы плоскорезными культиваторами. Но, тем не менее приходится так же, как и при работе по традиционной технологии, пока применять гербициды, использование которых вряд ли можно отнести к природоподобным решениям.

Уже в настоящее время использование в земледелии технологий без вспашки становится все более широким, особенно в аридных и полуаридных регионах. Создание новейших технических средств, конструирование соответствующих сельскохозяйственных машин способствуют увеличению производительности земледельческих комплексов, применяющих минимальную и нулевую технологии обработки почв (Ресурсосберегающие ..., 2019). Сберегающее земледелие является долгосрочным видом ресурсосбережения. При рациональном его введении удастся достичь максимальных показателей минимизации затрат, сокращения ущерба экономике и экологии, существенно повышается эффективность производства.

Использование «no-till» технологий в мире. Сегодня «no-till» технология применяется в хозяйствах от Полярного круга (Финляндия), через тропики (Кения, Уганда) до 50°С южной долготы (Фолкленские и Мальдивские о-ва); на высоте до 3000 м н.у.м. БС (Колумбия, Боливия); от территорий повышенной влажности (Бразилия, Чили) до крайне засушливых (Западная Австралия). Но в разных странах степень ее применения различна. Нулевая технология – не только отказ от пахоты, это целостная система земледелия, требующая проведения всех необходимых агротехнических приемов своевременно, качественно и в полном объеме. Она не прощает ошибок, малейшее отклонение от технологии оборачивается потерей урожая. И, прежде всего, требуется радикальная перестройка мышления, изменение самой философии подхода к земледелию (Сафин и др., 2013, 2014). Все это требует либо государственного управления, либо оперативной реакции на растущие вызовы текущей ситуации в земледелии самих сельскохозяйственных производителей (включая и создателей оборудования для «no-till»), совместной работы ученых, преподавателей, консультантов, фермеров и представителей бизнеса. В разных странах это происходит по-разному.

В настоящее время в наибольшей мере природоподобная «no-till» технология используется фермерами-механизаторами в Южной Америке: на 45% посевной площади в Бразилии, на 80% – в Аргентине и на 60% – в Парагвае, а также в Австралии, где на нулевую систему перешли 70% фермеров (Hall, Dorai, 2010; Дерти, 2016). Аргентина, Парагвай и Австралия – лидирующие страны в мире по проценту внедрения метода «no-till». В США лишь около 17% общей посевной площади занято под «no-till» обработку почвы (Дерти, 2016; Прямой посев ..., 2017).

В Европе, Африке и Азии по сравнению с американскими континентами устойчивая производственная система по сбережению природных ресурсов «no-till» пока применяется в небольшой степени. Такая же ситуация и в России, в которой технология «no-till» используется фрагментарно. На постсоветском пространстве довольно широко технология «no-till» применяется в Казахстане, обеспечивая его качественным зерном твердых сортов пшеницы (в отличие от России, где в связи с другими климатическими условиями 90-95% пахотных земель занимают более низкокачественные сорта мягкой пшеницы).

Приведем несколько примеров, показывающих, что при соблюдении технологии «no-till» урожайность (в масштабах как отдельных хозяйств, так и государства в целом) не только не уменьшается, а наоборот – увеличивается.

Так, фермер Ральф Хольцварт, округ Брукингс, Южная Дакота, за 6 лет в начале XXI в. произвел на 7% больше зерна кукурузы при осадках на 125 мм ниже, а также при меньшей плотности посевов, чем другие производители округа, выращивающие кукурузу в системах, основанных на традиционной обработке почвы. Отдельное растение кукурузы на его ферме производит на 45% больше зерна, чем растение кукурузы в округе Брукингс (Прибавка к урожайности ..., 2014).

В Казахстане последовательное применение нулевой технологии сева позволяет дополнительно сберечь 50-60 мм полезной влаги в год, что приводит к повышению урожая зерновых (Сафин и др., 2013, 2014). Этот факт иллюстрирует таблица, в которой приведены данные по урожайности пшеницы при использовании различных агротехнологий в районе Костанайского НИИСХ.

Таблица. Рост урожайности яровой пшеницы в связи с переходом на минимальную и нулевую технологии возделывания (Костанайский НИИСХ; Сафин и др., 2014).

Традиционная технология		Минимальная технология		Нулевая технология	
1991-1995 гг.		1996-2000 гг.		2004-2009 гг.	
ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
12.8	100	19.5	152	28.7	224

В Аргентине применение прямого сева дает возможность дополнительно сберечь 100-150 мм полезной влаги в год. Благодаря «no-till» технологии сухие годы преобразуются в засушливые, а засушливые – в благоприятные (Сафин и др., 2014). В работе «Прямой посев ...» (2017) отмечается, что фермеры Аргентины за последние десять лет увеличили производство зерна почти в два раза и вывели его в число ведущих на планете экспортеров продовольствия. При этом в Аргентине (в отличие от США и ЕС) фермеры не получают какой-либо помощи от государства и вынуждены полагаться только на самих себя, искать пути сокращения затрат и повышения урожая. Стремительный экономический взлет был обусловлен быстрым внедрением нулевой обработки в производство основных сельскохозяйственных культур. Это стало возможно во многом еще и потому, что производители посевной техники в этой стране оперативно отреагировали на растущие потребности в оборудовании для «no-till» технологии. Столь быстрая реакция машиностроителей на потребности рынка характерна для всех стран Южной Америки.

«No-till» технологии в России. В России в настоящее время темпы перехода на «no-till» весьма скромные. Как было сказано выше, для указанного перехода необходима или централизованная государственная программа, или оперативная реакция самих сельскохозяйственных производителей (включая работу ученых, фермеров, представителей бизнеса и создателей оборудования для «no-till» технологий). По разным причинам (в первую очередь в силу сырьевой стратегии социально-экономического развития страны) ни того, ни другого в России нет. Поэтому, как было отмечено,

в России технология «no-till» используется лишь фрагментарно в Башкортостане, Зауралье, на Алтае, в Южной Сибири, тем не менее демонстрируя в большинстве случаев неплохие результаты. В частности, на примере Сельскохозяйственного производственного кооператива «Красная Башкирия» Абзелиловского района Республики Башкортостан за 2013 год показано, что прибыльность производства пшеницы при использовании традиционной агротехнологии в расчете на 1 га меньше на 2.7 тыс. руб. (или на 37%), чем при возделывании данной культуры по нулевой технологии (Сафин и др., 2013, 2104).

Несмотря на небольшой опыт применения в стране «no-till» технологий, многие специалисты в области земледелия считают, что использование «nature-based» технологий в России неизбежно будет расширяться (Мареев, 2014; Сафин и др., 2013, 2014). В связи с отсутствием в стране длительных полевых исследований (~20-30 лет) по использованию нулевой технологии мы продемонстрируем лишь некоторые теоретические (модельные) оценки возможных перспектив использования «no-till» в России.

В частности, в работе Е.М. Гусева и Л.Я. Джоган (2019) показано, что технология нулевой (минимальной) обработки почвы в сочетании с мульчированием поверхности почвы растительными остатками является наиболее перспективным путем повышения влагообеспеченности и урожайности посевов пшеницы в степных районах Крымского полуострова (особенно в условиях осуществленной Украиной в 2014 г. водной блокады Крыма). При этом влагообеспеченность посевов пшеницы (определяемая отношением реальной транспирации посевов к потенциальной) на богарных полях степных районов Крыма увеличится в среднем на 13%, а урожайность пшеницы возрастет по сравнению с использованием традиционной технологии обработки почвы (с учетом повышения содержания гумуса в почве при долговременном (порядка 8-10 лет) мульчировании ее поверхности) в среднем на 12% (~ на 5.3 ц/га).

В работе Е.М. Гусева (2012) продемонстрировано, что в степной и лесостепной зонах России, являющихся важнейшими регионами страны для получения продовольственного и фуражного зерна, в отсутствие орошения на продуктивное испарение (транспирацию) на полях зерновых в среднем расходуется примерно 50% от всего суммарного испарения (еще 50% является непродуктивным испарением с почвы). При проведении мульчирования доля транспирации возрастает до 70-75%.

Еще один пример перспективности применения «nature-based» технологий в земледелии России рассмотрен в более ранних наших работах (Гусев, Джоган, 2018; Gusev et al., 2018), в которых исследуемым регионом также являются степная и лесостепная зоны Русской равнины. В них проведено сравнение двух стратегий повышения урожайности пшеницы в российской части рассматриваемого региона: 1) повышение среднемноголетнего годового валового урожая за счет увеличения доли орошаемых земель в регионе до 10% (Колганов и др., 2016), 2) получение такого же годового валового урожая пшеницы на тех же пахотных землях за счет использования на некоторой части площадей мульчирования почвы растительными остатками в сочетании с сокращенной обработкой почвы (вместо увеличения орошаемых площадей). При проведении оценок энергетических составляющих затрат на производство продукции и выхода с производимой продукцией (с учетом статистических данных по площадям пахотных земель, занятых под посевы пшеницы, для каждой административной области РФ, рассмотренного региона), оказалось, что одинаковые (для двух указанных выше стратегий) годовые валовые урожаи пшеницы для региона в целом (~50 млн. т/год) достигаются, если для второй стратегии культивирование с мульчированием используется на 30% пахотных земель. При этом ежегодные затраты для второй стратегии примерно на 1 миллиард US\$/год дешевле использования первой.

Указанная экономия для рассмотренного в работе региона при осуществлении второй стратегии относительно мала. Но главный аспект здесь заключается в том, что экологически более обоснованная и более природоподобная («nature-based») агротехнология, связанная с минимальной обработкой почвы (без несвойственного биосфере оборота пласта) в сочетании с мульчированием ее поверхности растительными остатками (заменяющих присутствующий в естественных степных экосистемах растительный войлок, уменьшающий непродуктивное испарение с почвы и ее эрозию), оказывается не дороже использования агрессивной по отношению к биосфере традиционной агротехнологии, основанной на глубокой вспашке (связанной с оборотом пласта) и применением орошения (приводящего к нарушению естественных структур гидрологического цикла), а в какой-то мере даже дешевле.

Выводы

В предыдущей статье (Гусев, 2019) был обоснован переход в указанных областях человеческой деятельности от традиционных так называемых «серых» технологий управления природными ресурсами, жестко ориентированным только на сиюминутную экономическую целесообразность, на нетрадиционные (природоохранные, природоподобные – «nature-based», зеленые – «green») технологии. В настоящей работе, являющейся продолжением предыдущей (Гусев, 2019), на примере развития человеческой цивилизации продемонстрирована эволюция сельскохозяйственных технологий, ведущая к неизбежности ориентации сельского хозяйства в ближайшем будущем на использовании «nature-based» агротехники. Тем самым на примере фактически долговременного биосферного эксперимента подтверждено представленное в предыдущей статье (Гусев, 2019) теоретическое обоснование неизбежности «зеленого земледелия».

Анализ истории развития сельского хозяйства показал, что в XX в. начался новый этап в эволюции такой диссипативной структуры на планете, как человеческая популяция. Произошел закономерный переход от стратегии ее развития, основанной на принципе максимума производства энтропии Г. Циглера, к стратегии минимума производства энтропии И. Пригожина, в основе которого лежит рационализация использования диссипативной структуры доступных ресурсов. Фундаментом рационализации служат природоподобные («nature-based») технологии использования человеком природных ресурсов. Уже в настоящее время использование в земледелии «no-till» технологий становится все более широким, особенно в аридных и полуаридных регионах. Создание новейших технических средств, конструирование соответствующих сельскохозяйственных машин способствуют увеличению производительности земледельческих комплексов, применяющих минимальную и нулевую технологии обработки почв. Сберегающее земледелие является долгосрочным видом ресурсосбережения. При рациональном его введении существенно повышается эффективность производства, удастся достичь максимальных показателей минимизации затрат, сокращения ущерба экономике и экологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андрианов Б.В. 1978. Земледелие наших предков. М.: Наука. 167 с.
- Бобровский М.В., Гин А. 2006. Земледелие в Европе. Хронология с картинками. ТРИЗ-профи: Эффективные решения в сельском хозяйстве. М. Кушнир. 220 с.
- Глендорф П., Пригожин И. 1973. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. М.: Мир. 280 с.
- Гумилев Л. 1994. Этногенез и биосфера Земли. М.: ТанаисДи-Дик. 640 с.
- Гусев Е.М. 2012. Ресурсы почвенных вод и экология наземного растительного покрова. Концепции, эксперимент, расчеты. Palmarium Academic Publishing: Saarbrücken. 116 с.
- Гусев Е.М. 2019. Неизбежность и перспективы использования человечеством стратегии «зеленого земледелия» // Аридные экосистемы. Т. 25. № 3 (80). С. 3-10. [Gusev E.M. 2019. Inevitability and Prospects of the Use of the “Green Farming” Strategy by Humanity // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 3. P. 143-149.]
- Гусев Е.М., Джоган Л.Я. 2018. Влияние различных агротехнологий на формирование водного режима, урожайность, эколого-энергетическую и экономическую эффективность посевов пшеницы в степной и лесостепной зонах Русской равнины // Природообустройство. № 3. С. 81-87.
- Гусев Е.М., Джоган Л.Я. 2019. Мульчирование как важный элемент стратегии использования ресурсов естественного увлажнения в агроэкосистемах степного Крыма // Почвоведение. № 3. С. 348-354.
- Двуреченский В.И. 2009. Ресурсосберегающие технологии в засушливой степи Казахстана [Электронный ресурс http://zarechnoe.ucoz.kz/HTML_documents/nashi_ststy/Resyrsovlagotehnologii.htm (дата обращения 22.03.2018)].
- Дерти Р. 2016. Так что же было раньше: обработка или «ноль»? [Электронный ресурс <http://agrotehnoogy.com/no-till/teoriya/tak-cto-zhe-bylo-ranshe-obrabotka-ili-nol> (дата обращения 12.01.2019)].
- Доманов М.Н. Минимальная обработка почвы: разрушение мифов. 2017 [Электронный ресурс <http://www.agbz.ru/articles/minimalnaya-obrabotka-pochvyi--razrushenie-mifov> (дата обращения 04.01.2019)].
- Иванов Л.И. 1977. Терентий Мальцев – народный академик. М.: Советская Россия. 224 с.
- Колганов А.В., Сухой Н.В., Шкура В.Н., Щедрин В.Н. 2016. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России. Новочеркасск: РосНИИПМ. 222 с.
- Коммонер Б. 1974. Замыкающийся круг. Л.: Гидрометеиздат. 274 с.
- Константинов И.С. 1987. Защита почв от эрозии при интенсивном земледелии. Кишинев: Штиинца. 240 с.

- Краснов Ю.А.* 1968. О возникновении пашенного земледелия в лесной полосе Восточной Европы // Советская археология. № 2. С. 3-22.
- Ломакин М.М.* 1988. Мульчирующая обработка почвы на склонах. М.: Агропромиздат. 183 с.
- Мареев М.А.* 2014. No-till – время пришло [Электронный ресурс <http://www.tambov-apk.ru/articles/3519/> (дата обращения 21.02.2019)].
- Менделеев Д.И.* 1991. С думою о благе российском: Избранные экономические произведения. Новосибирск: Наука. 231 с.
- Овсинский И.Е.* 2004. Новая система земледелия. Перепечатка публикации 1909 г. М.: АГРО-СИБИРЬ. 47 с.
- Почвозащитное земледелие. 1975 / Ред. А.И. Бараев. М.: Колос. 304 с.
- Прибавка к урожайности при No-Till. 2014 [Электронный ресурс <http://agropost.ru/rastenievodstvo/zemledelie/pribavka-k-urozhaynosti-pri-no-till.html> (дата обращения 5.04.2019)].
- Прямой посев: южноамериканская и австралийская модель. 2017 [Электронный ресурс http://agropraktik.ru/blog/Direct_seed/1029.html (дата обращения 12.04.2019)].
- Работа водных потоков. 1987 / Ред. Р.С. Чалов. М.: Издательство МГУ. 194 с.
- Ресурсосберегающие технологии в АПК.2019 [Электронный ресурс <https://solarfields.ru/blog/primenyaemye-tehnologii-v-apk/resursosberegayushchie-tehnologii-v-apk/selskohozyaystvennaya-tehnika> (дата обращения 12.01.2019)].
- Сафин Х.М., Шварц Л.С., Фахрисламов Р.С.* 2013. Технология No-till в системе берегающего земледелия: теория и практика внедрения. Уфа: Мир печати. 72 с.
- Сафин Х.М., Шварц Л.С., Фахрисламов Р.С.* 2014. No-till берегает почву и деньги крестьянина // Поле деятельности. № 2 [Электронный ресурс <https://apc-intech.ru/no-till-sberegayet-pochvu-i-dengi-krestyanin> (дата обращения 11.04.2019)].
- Сельскохозяйственные экосистемы. 1987 / Ред. Л.О. Карпачевский. М.: Агропромиздат. 4 с.
- Скорняков С.М.* 1977. От шумеров до наших дней (очерк истории развития земледелия). М.: Россельхозиздат. 271 с.
- Скуратович А.* 2007. Не давите, мужики! Не давите!... (Обзор: как выращивать растения и не утаптывать почву?). История великого дела // ТРИЗ-профи: Эффективные решения. М.: Кушнир. Ver 2.0. С. 87-101.
- Циглер Г.* 1966. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды. М.: Мир. 136 с.
- Шпаковский Н.А.* 2007. Эволюция технологии обработки почвы [Электронный ресурс <https://www.trizland.ru/trizba/pdf-articles/triz-profy2/008.pdf> (дата обращения 12.02.2019)].
- NO-TILL – шаг к идеальному земледелию. 2007 / Ред. В. Батурин. М.: Издательство Листерра. 127 с.
- Balwinder-Singha, Humphreys E., Gaydond D.S., Eberbach P.L.* 2016. Evaluation of the effects of mulch on optimum sowing date and irrigation management of zero till wheat in central Punjab, India using APSIM // Field Crops Research. Vol. 197. P. 83-96.
- European Commission. Building a Green Infrastructure for Europe. 2013. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 24 p.
- Faulkner E.H.* 1943. Plowman's Folly. Norman. University of Oklahoma Press. 174 p.
- Hall A., Dorai K.* 2010. The greening of agriculture. Agricultural innovation and sustainable growth. Link Limited. Brighton, United Kingdom. 60 p.
- Irrigation. 2019 [Электронный ресурс <https://en.wikipedia.org/wiki/Irrigation#References> (дата обращения 17.01.2019)].
- Gusev Y.M., Dzhogan L.Y., Nasonova O.N.* 2018. Modelling the impact of mulching the soil with plant remains on water regime formation, crop yield and energy costs in agricultural ecosystems // Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. Vol. 376. P. 77-82.
- Kirkby M.J., Morgan R.P.* 1980. Soil erosion. John Wiley & Sons, New York. USA. 312 p.
- Noulin J.* 1995. Moissonneuses et batteuses en France. E/P/A Editions. 120 p.
- Palmer M.A., Liu J., Matthews J.H., Mumba M., D'Odorico P.* 2015. Water security: Gray or green? // Science. Vol. 349. No. 6248. P. 584-586.
- Scopel E., Da Silva F., Corbeels M., Affholder F., Maraux F.* 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions // Agronomie. Vol. 24. P. 383-395.
- Sustainable Management of Water Resources in Agriculture. 2010. OECD publishing, Paris. France. 120 p.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris. UNESCO. 139 p.