

Здоровье почв является одним из главных условий, необходимых для удовлетворения разнообразных потребностей в продовольствии, биомассе (энергии), волокнах, кормах и других видах продукции, а также для обеспечения основных экосистемных услуг во всех регионах мира. Пересмотренная Всемирная хартия почв, ФАО, 2015 [1]

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВОЗАЩИТНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (В РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ ФАО)

**© 2019 г. М. С. Соколов^{1,*}, А. П. Глинушкин¹, Ю. Я. Спиридонов¹,
Е. Ю. Торопова^{1,2}, О. Д. Филипчук¹**

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия*

² *Новосибирский государственный аграрный университет
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия*

**E-mail: sokolov34@mail.ru*

Поступила в редакцию 07.12.2018 г.

После доработки 14.12.2018 г.

Принята к публикации 10.02.2019 г.

За последнее столетие повсеместно в мире состояние почв агросферы существенно ухудшилось. Во многих странах одним из стратегических путей получения приемлемых урожаев экономически значимых культур продолжает оставаться систематическое применение больших объемов минеральных удобрений, преимущественно азотных. В то же время мировой опыт последних десятилетий, обобщенный экспертами ФАО, свидетельствует, что в агрорегионах с экстремальными экоресурсами фундаментом адаптивного растениеводства может и должно стать почвозащитное ресурсосберегающее земледелие (далее – почвозащитные технологии). Эти технологии – значимая часть глобальной сельскохозяйственной концепции ФАО “сохранить и приумножить”, применимая к почве и другим исчерпаемым природным ресурсам. Основой почвозащитных технологий являются ключевые компоненты: а – системы no-till, mini-till, б – экономически приемлемые длинноротационные севообороты, в – сохранение растительных остатков, г – ассортимент адаптивных сортов, д – системы удобрений и химической защиты посевов от сорняков. Нулевая технология с сохранением послеуборочных остатков создает благоприятные условия для развития антагонистов и хищников, повышает экологическую устойчивость агроценоза вследствие супрессии фитопатогенных микроорганизмов. Эти технологии уже в краткосрочной перспективе позволяют увеличить производство агропродукции, обеспечить устойчивость растениеводческой отрасли, базирующейся на эксплуатации плодородной и здоровой почвы. Технологии, включающие оптимизированное применение азотных и органических удобрений, обеспечивают рост биопродуктивности и бездефицитный баланс гумуса – атрибута здоровья почвы. Хотя почвозащитное земледелие (включая секвестрацию почвой атмосферного углерода) нуждается в дополнительной научной проработке, большинство экспертов рассматривают его как реальную природоподобную агротехнологическую стратегию. Ее реализация позволит существенно улучшить производственные и средообразующие функции агроэкосистем, защитить и при необходимости оздоровить деградированную почву, существенно уменьшив производственные затраты на ее обработку. Почвозащитное ресурсосберегающее земледелие – реальный вклад в укрепление продовольственной безопасности и сохранение экосферы страны, а также (что немаловажно!) – в повышение производительности, доходности и качества жизни аграрного социума.

Ключевые слова: почвозащитные технологии, ресурсосбережение, здоровье почвы, no-till, mini-till, геобионты, гумус.

DOI: 10.1134/S000218811905003X

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение потребности в продовольствии сегодня является для человечества глобальным вызовом. Ожидается, что в следующие 40 лет численность населения мира достигнет рубежа в 9 млрд человек. Это потребует, как минимум, двукратного увеличения производства пищи и фуража. Однако традиционный подход, а также практика интенсивного земледелия уже не в состоянии ответить на подобный серьезный вызов во многом потому, что оно не обеспечило стабильное, эффективное и экологичное использование почв агросферы.

До недавнего времени почвы Земли эксперты рассматривали как неисчерпаемый природный ресурс. Однако по последним оценкам ФАО деградирована уже 1/3 обрабатываемых почв суши вследствие эрозии, уплотнения и засоления, дегумусирования и утраты питательных веществ, подкисления, загрязнения и других техногенных воздействий [2]. Деградированные почвы не в состоянии в полном объеме выполнять свои продукционные и средообразующие функции, поддерживать оптимальное разнообразие геобионтов и наземно-почвенной биоты. Если новые подходы к природопользованию не будут использованы оперативно, общая площадь пахотных и плодородных земель в 2050 г. составит на душу мирового населения лишь четверть от уровня 1960 г. [3].

Современная агротехнология – это системная категория, интегрирующая множество природных, экономических, социальных и других факторов на основе изучения их взаимосвязей [4]. Предложено рассматривать современные агротехнологии (далее – технологии) – экстенсивные, нормальные, интенсивные, высокоинтенсивные, альтернативные – как составляющие целостной системы адаптивно-ландшафтного земледелия. Эта мегасистема использует земли определенных агроэкологических групп, она ориентирована на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными потребностями, природными и производственными ресурсами. Система должна обеспечивать устойчивость агроландшафта, воспроизводство почвенного плодородия и здоровья.

Цель работы – критически проанализировать суть декларированной ФАО концепции почвозащитного ресурсосберегающего земледелия [3], проиллюстрировать ее результатами полевых исследований отечественных и зарубежных авторов об эффективности нулевых и минимальных обработок почвы, оценить их экологические, продук-

ционные и фитосанитарные преимущества и ограничения.

АКТУАЛЬНОСТЬ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ПОЧВ АГРОЦЕНОЗОВ

Деградация почв агросферы – следствие глобальной социально-экологической проблемы (ГСЭП) [5]. Это негативное действие проявляется как: а – исчерпание невозобновимых природных ресурсов, б – загрязнение экосферы, в – утрата биоразнообразия и генофонда Земли. ГСЭП – следствие техногенеза, в значительной степени – недооценки биотической составляющей почвы. Здоровая почва характеризуется сбалансированным биоразнообразием, отсутствием и/или не превышением установленных лимитов факторов вредности (химических, биологических, радиационных) [6]. Биота здоровой почвы характеризуется гетеротрофной, супрессирующей и трансформирующей активностями. Здоровье почвы предложено количественно характеризовать фактологическими (законодательно устанавливаемыми) критериями и функциональными параметрами, первые 2 протокола которых приняты к опубликованию.

Поддержание средообразующих биотических функций здоровой почвы – обязательная составляющая современной технологической парадигмы. Эти функции обеспечивают: а – синтез и трансформацию почвенного органического вещества (ПОВ), б – самоочищение почвенной экосистемы от поллютантов, патогенов, фитопатогенов, в – мобилизацию/иммобилизацию и метаболизм биофильных макро- и микроэлементов. Актуальнейшая задача – активно оздоравливать больную почву, поддерживать и усиливать уникальные жизненно важные для человека средообразующие почвенные процессы. Эта задача вполне реальна, если мы будем взаимодействовать с почвой как с самодостаточным компонентом экосферы. Почва неразрывно связана с наземно-почвенной мегаэкосистемой. Она непрерывно и устойчиво поддерживает жизнь геобионтов, автотрофов и биоты сопряженных биосистем, качество экоресурсов. В глобальном масштабе на протяжении длительного периода здоровая почва смягчала негативные последствия потепления климата вследствие парникового эффекта, выступая как постоянно действующий бассейн стока – аккумулятор атмосферного углерода, а также других биофильных элементов.

КОНЦЕПЦИЯ ПОЧВОЗАЩИТНОГО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ФАО

Очевидно, что реальным ответом на глобальный социальный вызов – обеспечение продовольственной безопасности нынешнему и будущему поколениям людей – должна стать реализация инновационной концепции стабильной, эффективной биологизированной интенсификации агропроизводства. Почвозащитное ресурсосберегающее земледелие (ПРЗ) – одна из стратегий этой концепции, пропагандируемая и внедряемая в последние годы в отечественное и мировое агропроизводство.

Согласно экспертам ФАО [3], базовыми концептуальными принципами ПРЗ являются:

1 – нулевая обработка почвы (прямой посев по пожнивным остаткам, без вспашки и предпосевной обработки); система включает также регулируемую (ленточную) обработку, при которой обрабатывают не более 20–25% поверхности почвы;

2 – постоянное мульчирование почвы, сохранение на ее поверхности растительных остатков и/или растений, защищающих ее от водной и ветровой эрозии, уменьшающих поверхностный сток и испарение воды, повышающих продуктивность, улучшающих физические, химические и биологические свойства почвы;

3 – диверсифицированный севооборот, включающий, как минимум, 3 вида культур (например, злаковые, масличные и зернобобовые). Севооборот предусматривает всемерное сокращение вредности сорняков, фитопатогенов и фитофагов, положительное воздействие на выращиваемые культуры и почву, повышение ее продуктивности и здоровья для последующей культуры; оптимальный ассортимент культур (включая азотфиксаторы), обеспечивает рентабельность урожая, минимизацию его потерь, порчи или утраты ресурсов.

ПРЗ рассматривают и как основу глобальной агроконцепции ФАО “сохранить и приумножить”, как руководство для политиков, направленное на интенсификацию агропроизводства при эффективном и бережном использовании ресурсов. Концепция предусматривает условия сохранения и повышения плодородия почвы, регуляции выноса питательных элементов, рационального водопользования, интенсивное применение арсенала средств биологической защиты агроценозов, более рациональное использование средств производства и предметов труда – семян, удобрений, воды, рабочей силы. Подчеркивается, что реализация концепции обеспечит сохранение

и приумножение не только целевой агропродукции, но и природных ресурсов, в частности, почвы. Однако утверждения авторов [3] о том, что стратегии производства агропродукции на основе концепции ПРЗ применимы независимо от агрорегиона и типа хозяйствования вызывают определенные сомнения.

Полагаем, что важным, актуальным принципом обсуждаемой концепции должно быть и создание специализированных сортов экономически значимых культур, в первую очередь устойчивых к возбудителям корневых гнилей пшеницы и ячменя, адаптированных к ПРЗ [7]. К сожалению, в концепции проигнорирована облигатная проблема обеспечения бездефицитного баланса гумуса в почвах агроценозов, а также рециклинг муниципальных и производственных отходов – сырья для производства ценных органических удобрений [8, 9].

В разработке научных основ и выполнении исследований по применению ПРЗ, а также в его апробации большую роль сыграла организация СИММИТ (Международный центр ФАО по изучению кукурузы и пшеницы в Мексике). ФАО провела важную работу по апробации и внедрению почвозащитных технологий на больших площадях посредством демонстрационных опытов, убеждения, обучения фермеров и специалистов, а также оказания помощи заинтересованным странам в разработке национальных стратегий ПРЗ, в привлечении целевых инвестиций. Пример успешного сотрудничества СИММИТ, ФАО и Всемирного банка – внедрение ПРЗ в Республике Казахстан: за 10 лет (2002–2012 гг.) площади под ПРЗ здесь достигли 1.8 млн гектаров, а страна вошла в первую десятку государств, реализующих почвозащитные технологии [3].

ПОЧВЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

Содержание в верхнем горизонте почвы органического углерода – почвенного органического вещества (ПОВ) и гумуса многие эксперты рассматривают как первичный индикатор качества почвы. Это жизненно важный ее горизонт, здесь локализуется большая часть геобионтов, семян, удобрений, пестицидов. На этот горизонт почвы воздействуют интенсивные атмосферные осадки, именно он обеспечивает секвестрирование и эмиссию потоков парниковых газов (CO_2 , CH_4 и N_2O). ПОВ играет важную роль в скорости инфильтрации воды, мобилизации и иммобилизации питательных элементов, в предотвращении эрозии. Фитосанитарные функции ПОВ недавно детально обсуждали; полагаем, что ПОВ – это

важнейший индуктор функционирования почвенной биохимической системы [8].

В то же время уровень обеспеченности почвы гумусом, иным органическим веществом — это далеко не всегда определяющий фактор получения высокого урожая, хотя при критическом содержании ПОВ ($C_{\text{орг}}$) установлена прямая зависимость между $C_{\text{орг}}$ и величиной урожая [10].

В составе ПОВ входит несколько фракций углерода: а — легко разлагаемая (активно лабильная, образуемая на ранней стадии гумусообразования), б — промежуточная, в — стабильная (трудноразлагаемая). Эти фракции содержатся в разных объемах и существенно различаются по времени круговорота в почве. Нестабильное (супердисперсное и растворенное) ПОВ состоит в основном из мельчайших частиц и водорастворимых органических веществ. Органические соединения лабильной фракции легко разлагаются и утилизируются микроорганизмами. Фракция устойчивого (нерастворимого) органического углерода в почве по возрасту является относительно старой, находится в тесном контакте с вторичными глинистыми минералами и ограниченно доступна микроорганизмам.

Лабильная фракция ПОВ играет решающую роль в формировании почвенных агрегатов, однако из-за короткого срока жизни она наиболее чувствительна к изменениям технологий. Ее рассматривают как объективный индикатор изменения структуры ПОВ. Ее содержание увеличивается с уменьшением интенсивности обработки почвы. При нулевой обработке почвы наиболее высокая доля этой фракции локализована в слое 0–10 см [11]. Севооборот также влияет на фракционный состав ПОВ: более разнообразные и насыщенные видами растений севообороты индуцируют формирование большей доли тонких частиц ПОВ.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СОХРАНЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Воздействие на содержание ПОВ концептуальных элементов ПЗ (обработки почвы, мульчи, севооборота) в полной мере пока не установлено. Рассмотрим кратко главные факторы, влияющие на эту важную почвенную характеристику.

Система обработки почвы. Сравнивая общее содержание ПОВ при 2-х системах земледелия необходимо учитывать следующее [3]:

1 — объемная плотность может увеличиваться после перехода от традиционной обработки поч-

вы к нулевой. При взятии образцов одинакового объема на одной и той же глубине поверхностного слоя почвы больше ее масса будет на участке с нулевой обработкой, чем на традиционно обрабатываемом;

2 — распределение ПОВ по профилю почвы характеризуется его более высоким содержанием в поверхностном слое при нулевой обработке. При традиционной обработке наибольшее содержание ПОВ обнаруживается в более глубоких слоях почвы, куда растительные остатки заделывают при вспашке.

Органические соединения, эмиссируемые в почву из корней растений и мортмассы — важное условие, индуцирующее продукционные и средообразующие функции геобионтов. Нулевая обработка почвы усиливает физическую защиту ПОВ от деструкции и потерь, поскольку при этом объемная плотность почвы повышается вследствие снижения объема малых микропор. Абсорбированные внутри микроагрегатов дисперсные частицы органики обеспечивают ее долгосрочную локализацию и сохранение от деструкции. Микроагрегаты в пределах почвенных макроагрегатов относительно стабильны и служат микроорганизмам благоприятным биотопом.

Это основной источник образования ПОВ. Оставление большего объема растительных остатков на поверхности почвы способствует увеличению содержания ПОВ, поддержанию бездефицитного баланса гумуса. Скорость их деструкции зависит от характеристики почвы, состава, массы и структуры ингредиентов растительных остатков — доли растворимой фракции, лигнина, целлюлозы и полифенолов.

Севооборот. Структура севооборота влияет на образование ПОВ в зависимости от содержания и качества органического вещества растений. Условия повышенной влажности в случае ПЗ позволяют выращивать покровные культуры сразу же после уборки урожая основной культуры. Покровные культуры способствуют повышению содержания ПОВ за счет увеличения объема растительных остатков и сохранения растительного покрова в критические для подпокровной культуры периоды.

Почвозащитные технологии способствуют интенсификации растениеводства за счет сокращения периода между уборкой урожая и посевом следующей культуры, поскольку дополнительной подготовки поля при этом не требуется. Выращиванию промежуточных культур, кроме увеличения продолжительности вегетационного периода, способствует и повышенное содержание влаги

в почве. В некоторых ситуациях возможны также совмещенные и уплотнительные посевы. В целом, увеличение ассортимента культур диверсифицированного севооборота (в сравнении с монокультурой) приводит к повышению содержания в почве азота и ПОВ. Влияние севооборота на содержание ПОВ может быть связано с увеличением биомассы агроценоза, с более высоким валовым производством фитомассы, с изменением ее качественного состава. Трансформация углерода в стабильные, длительно сохраняющиеся его формы зависит от видов возделываемых культур. Например, севообороты с бобовыми культурами накапливают в более глубоком горизонте почвы больше стойких соединений углерода в сравнении с бессменным посевом кукурузы [11].

Сочетанное действие обработки, растительных остатков и севооборота. ПРЗ – это система технологий, включающая совокупный эффект нескольких базовых компонентов почвозащитного земледелия. Соблюдение технологий системы нулевой обработки приводит к повышению содержания ПОВ и интенсификации растениеводства. Для накопления ПОВ важно обеспечить не только поступление в агроценоз углерода растительных остатков, но и азота, посредством, например, посева сидератов (бобовых культур с бактериями-симбиотрофами). Если при нулевой обработке предусмотрено внесение в севооборот зеленого удобрения зернобобовых (растительные остатки вики, гороха), то фиксация атмосферного азота выступает в качестве основного фактора, обеспечивающего накопление ПОВ. Большее накопление органического вещества в этом случае обеспечивают корни возделываемых культур. При традиционной обработке почвы возможно снижение эффективности сидеральных культур-азотфиксаторов вследствие денитрификации; азот также может теряться и в результате выщелачивания или улетучивания в процессе минерализации органических веществ, индуцируемых механической обработкой почвы.

Многолетними опытами Курганского НИИ-ИСХ продемонстрировано, что длительное применение нулевой обработки при возделывании яровой пшеницы в зернопропашном севообороте на фоне минерального азота (N40) и химической системы защиты от сорняков значительно снижало минерализацию ПОВ выщелоченного чернозема, тем самым обеспечивая повышенное накопление активного и общего гумуса. Сравнение с залежью, где зафиксировано наибольшее содержание всех фракций ПОВ, позволило сделать вывод, что "... механическая обработка при наличии чистых паров в севообороте, активизируя мине-

рализационные процессы, способствует снижению в первую очередь лабильных форм гумуса. При нулевой обработке почва характеризуется более высокими показателями общего и легко-разлагаемого гумуса, однако не достигает уровня, определяемого в образцах залежи, по причине низкого поступления в почву растительных остатков" [12].

Сорта, адаптированные к почвенным фитопатогенным К-стратегам – возбудителям корневых гнилей зерновых злаков. Механизм самозащиты пшеницы от некротрофных почвенных фитопатогенов изучен недостаточно. Селекция устойчивых сортов носит случайный характер: как правило, уже готовый к государственным испытаниям сорт оценивают на устойчивость к почвенным болезням *post factum*. Поэтому из общего ассортимента сортов яровой пшеницы, районированных в Сибирском регионе, лишь 18% относительно устойчивы к какому-то одному из почвенных фитопатогенов [7].

В процессе оценки наиболее значимых для селекции устойчивых сортов яровой пшеницы по взаимодействию с возбудителем обыкновенной корневой гнили *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker установлено, что при скрининге сортов на устойчивость нельзя ограничиваться искусственными питательными субстратами (песчаной культурой, бумажными рулонами и т.п.). Используемая для подобных целей типичная региональная почва должна быть, как минимум, заселена *B. sorokiniana* на уровне 2-х–4-х биологических порогов вредоносности. Тестируемые на устойчивость к возбудителю сортообразцы пшеницы должны характеризоваться: 1 – продолжительностью критического к фитопатогену периода "посев–полные всходы"; 2 – составом и активностью корневых экссудатов, стимулирующих размножение антагонистов – ризосферных микроорганизмов-супрессоров фитопатогена; 3 – интенсивностью проявления симптомов корневой гнили на эпикотиле и иных инфицированных подземных органах; 4 – интенсивностью споруляции возбудителя на прикорневых листьях; 5 – средней численностью конидий возбудителя в почве и ее динамикой в ризосфере за вегетационный период; 6 – величиной и структурой урожая; 7 – инфицированностью и полевой всхожестью семян; 8 – качеством зерна и муки. С учетом изложенных подходов по итогам многолетних исследований, выделены 2 перспективных сортообразца яровой пшеницы (Сибирская 144, Сибирская 150), характеризующиеся слабой пораженностью обыкновенной корневой гнилью, интенсивной деградаци-

ей в почве ее конидий и минимальным воспроизводством инокулюма на прикорневых листьях [7].

Система химической защиты посевов от сорной растительности. Согласно В.И. Кирюшину [4, 13], при всей значимости и перспективности минимальной и/или нулевой обработках почвы технологии ПРЗ довольно сложны по 2-м причинам. В период освоения им сопутствуют: а – повышенная засоренность посевов, б – дефицит доступного почвенного азота. Поэтому в агрорегионах с экстремальными экоресурсами без систематического применения комплекса гербицидов и азотных удобрений почвозащитные технологии трудно реализуемы. Например, по данным многолетних исследований в Урало-Сибирском регионе, при минимизации обработки почвы засоренность увеличивалась, как минимум, в 2–3 раза, и изменялся спектр сорняков [12], на удобренном фоне засоренность посевов существенно возрас- тала [14].

По многолетним данным Курганского НИ- ИСХ [12] и исследованиям в Западной Сибири [15], при переходе к минимизации обработки почвы существенно изменяется состав ценоза сорняков: возрастает доля озимых и зимующих видов, до 70% расширяется видовое разнообразие сорных растений. В южной лесостепи Новосибирской обл. отказ от интенсивных обработок почвы привел к появлению в посевах пшеницы липучки обыкновенной, аистника цикутового, смолевки-хлопушки, ранее встречавшихся в посевах пшеницы достаточно редко, среди корнеот- прысковых преобладающими стали молочай лоз- ный, вьюнок полевой, молокан татарский, уси- лилось засорение агроценоза также малолетними просовидными сорняками и овсюгом.

Отмеченные сукцессии сорняков потребовали инновационных изменений в технологиях хими- ческой прополки, таких как “допосевное приме- нение” гербицидов, “предуборочная десикация” посевов, “комбинированный пар”, “химический пар”. Химический пар – это 2 и более обработки гербицидами разных химических классов, а также применение смесевых препаратов – оказался эф- фективным при высокой засоренности посевов корнеотпрысковыми сорняками. Механические культивации парового поля по разным причинам оказались неэффективными, а однократная обра- ботка гербицидами – недостаточной. Химиче- ский пар позволил полностью исключить меха- нические обработки парового поля. Десикация глифосатом не только ускорила сушку зерна яро- вой пшеницы на корню и освободила посев от позднего подгона, но и уменьшила засоренность

поздними яровыми и многолетними корнеот- прысковыми сорняками [12].

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЦИКЛ УГЛЕРОДА

Рассматривая ПРЗ в качестве мегатехнологии, полагаем, что оно не только сберегает почву и устойчиво повышает продуктивность культур, но и влияет на малый цикл углерода, аккумулируя ПОВ в агроценозах, снижая, тем самым, эмиссию парниковых газов в приземную атмосферу.

Взаимодействие углерода и азота в глобальном цикле. Глобальный круговорот (цикл) углерода включает малый биогеохимический цикл. По дан- ным разных авторов (цит. по [16]), техногенные выбросы С-СО₂ оценены в ~10.0 млрд т. Из обще- го объема выбросов 44% эмиссированного углеро- да поглощается атмосферой и 26% – океаном, на- земные автотрофы поглощают всего 30% С-СО₂. Как полагают авторы работы [3], в последние 150 лет выбросы СО₂ в атмосферу вследствие техноген- ной деятельности увеличились на 31%.

В почве углерод представлен запасами органи- ческих и неорганических соединений. Агропро- изводство влияет в основном на содержание ПОВ. Дегумификация почвы – следствие ее де- градации, индуцирующей утрату плодородия, снижение продуктивности и здоровья почвы, в конечном счете – дефицит продовольствия [10]. Поэтому секвестрация углекислого газа агроце- нозами (поглощение из атмосферы через фото- синтез и сохранение в виде ПОВ) повышает устойчивость растениеводства.

Азот на Земле представлен в основном запаса- ми атмосферного газа (N₂), а также циркулирую- щими между биотой и почвой нитратами (NO₃⁻), нитритами (NO₂⁻) и аммонием (NH₄⁺). В процессе техногенеза (вследствие применения синтетиче- ских азотных удобрений) в 2 раза увеличилось по- ступление азота из атмосферы в его биологически доступный пул. Он пополняется также в результа- те поглощения и осаждения из атмосферы газов азота – закиси азота, оксида азота и аммиака.

При разложении ПОВ (в процессе аммонифи- кации) СО₂ эмиссируется в атмосферу, а аммо- ний (NH₄⁺) фиксируется почвой. Аммиак в сво- бодном виде практически не накапливается в почве, а переходит в аммонийный ион NH₄⁺, усва- ивается микроорганизмами и в аэробных услови- ях окисляется ими вначале в нитриты, затем в нитраты. В анаэробных условиях в процессе де- нитрификации нитраты восстанавливаются в нитриты, оксид азота, закись азота и молекуляр-

ный азот. В почве нитрификация и денитрификация могут происходить одновременно. Эмиссия закиси азота из почвы в атмосферу способствует потеплению климата вследствие “парникового эффекта”. Вклад наиболее важных биогенных парниковых газов в глобальное потепление составляет: CO_2 – 70, CH_4 – 23 и N_2O – 7% [3].

Возможность управления малым циклом углерода. В почву органика поступает с надземными и почвенными остатками биомассы. Органика мортмассы трансформируется геобионтами, получающими энергию для роста при окислительной деструкции сложных органических молекул, при этом около половины углерода высвобождается в форме CO_2 .

В агроэкосистемах функционируют 4 источника эмиссии CO_2 : а – дыхание растений, б – окисление ПОВ (включая мортмассу), в – сжигание углеводородного топлива сельскохозяйственной техникой, г – использование топлива в производстве удобрений и пестицидов. Почвы рисовых чеков и болот продуцируют метан.

Баланс содержания углерода в почве определяется его поступлением от разложения растительных остатков и потерь вследствие окисления ПОВ. Технологии повышения содержания гумуса требуют систематического внесения органических удобрений, снижения потерь ПОВ из-за разложения, либо применения обоих приемов.

Итак, поступление ПОВ можно увеличить: а – диверсификацией севооборотов, б – снижением интенсивности обработки почвы и оставлением растительных остатков (мульчи) на поле, в – рационализацией применения средств интенсификации технологий (удобрений, полива, пестицидов и др.). Биохимическое разложение и потери ПОВ можно сократить посредством: а – изменения технологии и кратности обработки почвы, б – включения в севооборот культур, оставляющие много медленно разлагающихся послеуборочных остатков, а также (что крайне важно!) – бобовых и зерно-бобовых сидератов.

По мере совершенствования практики ведения сельского хозяйства содержание ПОВ будет постепенно приближаться к новому, устойчивому состоянию, однако на это потребуются не один десяток лет [8]. Отмечают также [16], что уровень насыщения органическим углеродом почв агроценозов имеет свои ограничения, в частности, зависит от почвенно-климатических особенностей и других региональных факторов.

Разложение и иммобилизация ПОВ микроорганизмами. Накопление ПОВ в любых системах земледелия зависит от объема вносимого в почву

органического вещества, его характеристик и скорости микробной деструкции. ПОВ является основным энергетическим и пищевым ресурсом почвенных микроорганизмов, высвобождающих углекислый газ в процессе дыхания. После минерализации некоторая часть углерода ПОВ (ФАВ) используется также для роста и развития растений. Факторами, регулирующими процесс разложения ПОВ, являются: а – гидротермические условия, б – физические свойства почвы, в – структура и численность геобионтов, г – интенсивность взаимодействия геобионтов и автотрофов [17–19].

Растительная мортмасса наиболее быстро разлагается в почвах с порами относительно большого объема (с диаметром 15–60 мкм) [3]. По мере ее разложения в почве происходят качественные изменения: легко ассимилируемые соединения ускоренно метаболизируются, устойчивые компоненты (лигнин и др.), напротив, накапливаются. Дефицит биофильных элементов на любой стадии разложения органического вещества может ограничить микробиологическую активность почвы, блокируя тем самым мобилизацию биофильных элементов. При этом именно азот чаще всего является тем питательным элементом, который оказывается в дефиците.

О комплексной оценке роли почвозащитных технологий в эмиссии CO_2 . Сохранение в почве растительных остатков и органического углерода, с одной стороны, и постоянные выбросы CO_2 в атмосферу вследствие техногенеза, с другой, должны рассматриваться комплексно. Это позволит более объективно оценить потенциал смягчения воздействия различных сельскохозяйственных технологий на сокращение техногенной эмиссии CO_2 . Для определения роли почвозащитных технологий также важно оценить потребление топлива/энергии и объем выбросов CO_2 при производстве электроэнергии, удобрений, извести, пестицидов, семян и сельскохозяйственной техники, а также при орошении. Подчеркнем, что наибольший вклад ПРЗ вносит в уменьшение выбросов CO_2 , связанных с сокращением операций по обработке почвы. Тем не менее, если усиленное сохранение углерода будет продолжаться в течение определенного периода времени, то снижение выбросов CO_2 в атмосферу, достигаемое благодаря снижению использования топлива, может продолжаться длительный период. Таким образом, нулевая технология возделывания, как альтернативная земледельческая практика, в долгосрочной перспективе может с избытком компенсировать дефицит ПОВ.

Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие может также уменьшить выбросы CO_2 за счет экономии оросительной воды. Орошение косвенно способствует выбросам CO_2 , поскольку на подачу воды для орошения насосами расходуется электроэнергия. В отдельных случаях вследствие частичного растворения CaCO_3 высвобождается кальций связывается почвой, а CO_2 эмиссируется в атмосферу. Накопление растительных остатков при нулевых системах обработки почвы повышает ее влажность, а это позволяет экономить поливную воду.

Влияние почвозащитных технологий на накопление органического вещества почвой. Запасы ПОВ могут быть определены посредством отбора образцов либо рассчитаны на основе оценки эмиссии CO_2 из почвы. Два фактора следует учитывать при измерении органического углерода в образцах почвы: а – объемную массу (плотность) почвы, б – глубину отбора образцов. Было отмечено, что объемная масса почвы зависит от приемов ее обработки. Поэтому анализируемые пробы не должны отличаться по почвенной массе. При этом самый верхний слой почвы и ее нижние горизонты, содержащие значительное количество ПОВ, в анализ не включаются.

Итак, при нулевой технологии в поверхностных слоях почвы выявляют повышенное содержание ПОВ в сравнении с отвальной вспашкой. При обычной обработке почвы более высокое содержание ПОВ регистрируется в более глубоких ее слоях, куда при вспашке заделывают растительные остатки. Для изучения возможного различия в распределении корней и корневых остатков при разных вариантах обработки необходимо отбирать образцы почвы с разной глубины почвенного профиля [3].

Баланс углерода в почве следует оценивать посредством динамических измерений эмиссии CO_2 ; при этом должны быть учтены дополнительное поступление органического вещества и/или эвакуация из агроценоза органических продуктов (например, урожая зерна, соломы). Чтобы лучше понять влияние отдельных компонентов почвозащитной технологии (нулевая обработка, мульча, севооборот, сорта, гербициды) на баланс ПОВ целесообразно оценивать влияние каждого из них отдельно. При традиционной обработке наибольшую эмиссию CO_2 регистрируют преимущественно после вспашки; при этом сезонный уровень почвенной эмиссии CO_2 превышает вариант с ПРЗ.

Тем не менее, в целом влияние нулевой обработки почвы на содержание ПОВ остается пока

невыясненным. Результаты исследований этой проблемы зачастую противоречивы. Во многих исследованиях содержание ПОВ при нулевой технологии значительно различалось в сравнении с обычной и минимальной обработками, а содержание ПОВ при обычной и минимальной обработках оказывались близки. Тем не менее, несмотря на необходимость дополнительных исследований, следует выделить некоторые важные факторы, влияющие на процесс аккумуляции ПОВ в почве, обрабатываемой согласно технологии ПРЗ [3]:

а – различия в глубине развития корней и содержании корневых остатков. Углерод, поступающий из корней возделываемых культур – важный фактор поддержания баланса в почве ПОВ. Нулевая обработка индуцирует горизонтальное распределение корней и их большую плотность в поверхностном слое почвы;

б – исходное содержание углерода: старые, истощенные почвы обладают большим потенциалом для сохранения углерода в сравнении с более молодыми почвами, обогащенными органическим веществом. Дегумусированные почвы, утратившие ПОВ вследствие эрозии, быстрее восполняют его дефицит при переходе от традиционной обработки к нулевой;

в – удельная плотность почвы и пористость: при нулевой обработке физические свойства почвы существенно влияют на сохранение ПОВ, защищая его от потерь, напротив, крупные поры почвы (от 15 до 60 мкм) способствуют более быстрому разложению ПОВ;

г – климат: его влияние на утрату ПОВ при различных технологиях убывает в следующем порядке: влажный тропический > сухой тропический > умеренно влажный > умеренно сухой. В почвах умеренно-холодного климата обработка, как правило, оказывает минимальное влияние на содержание ПОВ. Природно-климатические условия, непосредственно действующие на почвенно-экологические процессы (деструкция ПОВ, формирование почвенных агрегатов, изменение продуктивности, утилизация органического вещества) оказывают определяющее действие на динамику ПОВ и его сохранение в почве при различных технологиях;

д – местоположение, ландшафт, эрозия/денудация существенно влияют на динамику ПОВ. В частности, при высоком исходном содержании ПОВ после 15-летних наблюдений регистрировали существенное снижение его содержания.

Увеличение сохранения влаги при ПРЗ позволяет вводить в севооборот покровные культуры,

выращиваемые после уборки урожая основной культуры. Они усиливают защиту почвы, улучшают ее плодородие, снижают уровень грунтовых вод, способствуют подавлению болезней и вредителей, повышают содержание ПОВ, укрепляют структуру и водостойкость почвенных агрегатов. Повторные покровные культуры обеспечивают связывание ПОВ за счет большей массы растительных остатков и формирования растительного покрова в критические для подпокровной культуры периоды. Включение в севооборот “азотфиксирующих культур” для производства зеленого N-удобрения возможно только в отсутствие длительного засушливого периода. Севооборот влияет на сохранение ПОВ посредством увеличенного возврата биомассы, повышения интенсификации производства или изменения качества растительных остатков. В сравнении с монокультурой он индуцирует более эффективное сохранение и накопление углерода и азота в почве, в особенности при возделывании культур-азотфиксаторов [3, 17, 20].

Растительные остатки, включая мульчу – значимый резерв ПОВ. Их разложение на более простые органические соединения, ассимиляция и вовлечение в повторный круговорот через микробную биомассу – основные этапы гумусообразования. Оставление в агроценозе большого количества растительных остатков способствует повышенному содержанию ПОВ. Скорость их разложения зависит от количества и состава (растворимая фракция, лигнин, гемицеллюлоза, полифенолы), от характеристик геобионтов и свойств почвы [21].

Итак, почвозащитное ресурсосберегающее земледелие – это не однокомпонентная технология, а продукт взаимного воздействия на агроценоз имманентных средообразующих факторов – природных и техногенных. В то же время, одновременно задействовать их все зачастую затруднительно и не всегда целесообразно. В засушливых регионах конкуренция за растительные остатки чрезвычайно высока, поскольку их прямое назначение – использование на фураж. В то же время сокращение обработки почвы и оставление ее без достаточного количества мульчи может привести к ее серьезной деградации. Интенсификация растениеводства, обогащение севооборота культурами разных видов при нулевой обработке индуцирует сохранение ПОВ. Для его аккумуляции необходима не только мульча, но и поступление в агроценоз извне доступного азота в форме, например, фитомассы сидератов-азотфиксаторов. Традиционная обработка почвы снижает эффективность азотфиксирующих культур; поступление азота вследствие азотфиксации

может сокращаться и при форсированном внесении азотных удобрений. Вспашка индуцирует минерализацию ПОВ и связанные с ней потери азота вследствие выщелачивания нитратов и улетучивания N-содержащих газообразных продуктов денитрификации. Следовательно, становятся объяснимыми целесообразность исключения чистого пара из севооборота и положительная роль нулевой обработки в сохранении ПОВ, снижающей аэрирование почвы.

Динамика других парниковых газов при почвозащитных технологиях. Углекислый газ является наиболее изученным парниковым газом в системах ПРЗ. Тем не менее, необходимо оценивать степень суммарного воздействия всех 3-х биогенных парниковых газов (CO_2 , N_2O , CH_4) на радиационный режим атмосферы. Это важно для понимания взаимосвязей и объективной оценки влияния технологий ПРЗ на глобальное потепление.

Повышение содержания ПОВ может ускорить круговорот азота в почве, в результате возрастет содержание NO_3^- . Нулевая обработка почвы в сочетании с сохранением растительных остатков улучшают ее структуру и уменьшают количество микрозон – биотопов анаэробных микроорганизмов. Тем не менее, нужны дополнительные исследования, чтобы выявить важнейшие факторы, влияющие на механизм эмиссии почвой N_2O и NO .

Улучшение аэрации почвы в результате повышения содержания ПОВ и прочности почвенных агрегатов будет препятствовать денитрификации и стимулировать окисление CH_4 . Освоение новых земель, преобразование естественных угодий в пашню снижает их способность поглощать CH_4 . Как полагают в работе [3], эта характеристика почвы все-таки менее важна, чем ее роль как донора N_2O .

ПРЕИМУЩЕСТВА ПОЧВОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, СПЕЦИФИКА ИХ ОСВОЕНИЯ

Возможность регулирования содержания ПОВ – существенное преимущество внедрения ПРЗ. Рычаг подобного регулирования находится в руках землепользователей и работников лесохозяйственных организаций. Их тактика определяется несколькими целями. В работе [3] показано, что главный потенциал ПРЗ – получение преимуществ для сельского хозяйства и экономики. Установлено, однако, что после перехода на нулевую обработку возвращаться к обычной обработке почвы нежелательно. Тем не менее, иногда

приемы ее обработки чередуют по различным причинам, в частности, для оптимизации фитосанитарного статуса агроценоза. Тем не менее, практически каждая обработка почвы приводит к потере ПОВ, индуцируя дополнительную эмиссию CO_2 [3].

Итак, почвозащитные технологии обеспечивают получение как личных (для землепользователя), так и общественных выгод: постепенный устойчивый рост урожайности, более эффективное использование природных и техногенных ресурсов для агропроизводства. Поскольку очевидно, что ПРЗ обладает многими преимуществами, то правомерен вопрос: почему темпы его внедрения замедлены? Для этого существуют несколько причин [3]:

а – устойчивая тенденция к отчуждению растительных остатков в хозяйственно-экономических целях в фермерских хозяйствах – серьезное препятствие на пути внедрения ПРЗ. Это особенно часто отмечают в отсутствии орошения и в ползасушливых регионах, где растительные остатки используют преимущественно в качестве корма для животных;

б – мелкие фермерские хозяйства весьма разнообразны по специализации и экономическим возможностям, что тормозит процесс введения новых технологий, повышающих продуктивность почвы. Многие землевладельцы не желают рисковать и избегают введения новых технологий, которые (с их точки зрения) представляют дополнительный риск для их экономической безопасности. У мелких фермерских хозяйств недостаточно доступа к финансовым ресурсам для закупки нового оборудования, минеральных удобрений, современных средств защиты растений;

в – наемные работники часто не понимают сути ПРЗ, даже если сам фермер его всесторонне поддерживает. Зачастую фермеры не имеют специального образования и, таким образом, они исключены из потока знаний, содержащих объективную информацию о ПРЗ. Наконец, малый масштаб хозяйства может быть препятствием для эффективного использования новой высокопроизводительной специальной техники, применяемой в технологиях ПРЗ.

Важно также, что сложные, многокомпонентные технологии ПРЗ не могут быть успешно внедрены с использованием традиционных методов. Для их внедрения в малых хозяйствах требуется разработка инновационных систем адаптации этих технологий к местным условиям. Для этого должна быть создана специальная сеть региональных и зональных центров обучения зем-

лепользователей, чтобы реально адаптировать эти технологии к различным природным условиям, системам земледелия и материальным ресурсам фермеров. Полагаем поэтому, что и в нашей стране в ближайшее время внедрение технологий ПРЗ в мелких фермерских хозяйствах из-за финансовых ограничений вряд ли осуществимо.

Одним из вариантов реализации внедрения ПРЗ могло бы стать развитие системы отечественного органического земледелия в хозяйствах разных форм собственности. Однако (по данным Союза органического земледелия РФ) в настоящее время в стране сертифицировано всего лишь 69 сельхозпредприятий: 25 – в растениеводстве, 9 – в животноводстве, 4 – в переработке продукции, остальные – в других сферах [22]. Развитие органического земледелия в России сдерживается несовершенством законодательной базы, отсутствием организационной, научно-методической и информационной составляющих этой приоритетной системы. Тем не менее, органическая продукция в стране востребована постоянно, а ее производство для удовлетворения растущего спроса населения – актуальная и престижная задача отечественных землепользователей.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ БИОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Минимальная и нулевая обработки почвы, сохранение растительных остатков, севооборот оказывают существенное влияние на распределение и трансформацию питательных элементов в почве. Это, как правило, связано с воздействием ПРЗ на содержание и форму ПОВ. Аналогично ПОВ, распределение элементов питания при нулевой технологии отличается от их локализации при традиционных приемах обработки почвы. В отсутствие вспашки повышенное содержание биофильных элементов отмечено, как правило, вблизи поверхности почвы. Такая их локализация во многом обусловлена размещением растительных остатков на поверхности почвы. Медленное разложение фитомассы предотвращает беспрепятственный вынос биофильных элементов в нижние слои почвы. При нулевой технологии количество сквозных пор в почве может быть достаточно высоким. Это приводит к более быстрому и глубокому проникновению водорастворимых биофильных элементов вглубь почвы. При нулевой технологии плотность корней возделываемых культур, как отмечали, повышается вблизи поверхности почвы из-за локализации боль-

шего количества питательных элементов в ее поверхностном слое.

Азот. Наличие доступного растениям минерального азота почвы зависит от скорости минерализации ПОВ. Однако особенности минерализации ПОВ в зависимости от воздействия нулевой технологии и сохранения растительных остатков пока детально не исследовали. Сохранение растительных остатков на начальных этапах внедрения нулевой обработки не может напрямую повлиять на повышение содержания азота в почве, поскольку эти остатки локализуются на ее поверхности. Эта фаза иммобилизации азота при нулевой технологии может быть кратковременной, однако ее пролонгация снижает возможность потерь азота за счет выщелачивания и денитрификации [3].

Как оказалось, одним из отрицательных последствий технологий ПРЗ является ухудшение, в частности, азотного питательного режима серых лесных почв (Свердловская обл.). Более медленное прогревание почвы весной из-за мульчи на ее поверхности тормозит нитрификацию, а повышенная засоренность способствует увеличению выноса азота сорняками. Обобщение данных за ротацию севооборота показало, что в варианте без осенней вспашки содержание нитратного азота в среднем было меньше на 23–30% в сравнении с традиционной обработкой. Авторы объясняют это большей плотностью почвы в отсутствие вспашки, когда условия для нитрификации неблагоприятны; вследствие этого урожайность ячменя при прямом посеве составила 23,8, при вспашке – 31,2 ц/га [12].

ПРЗ влияет на содержание в почве общего азота и органических соединений, поскольку биогеохимический цикл азота неразрывно связан циклом углерода. При нулевой технологии в почве содержится большее количество общего азота, чем при обычной обработке [23]. При увеличении объема послеуборочных растительных остатков (особенно незерновых культур), содержание общего азота в почве также существенно возрастает.

Обработка почвы способствует разрушению агрегатов, делая ПОВ более доступным почвенным микроорганизмам, и увеличению выхода минерального азота из активных и физически защищенных почвенных агрегатов. Когда интенсивность обработки почвы сокращается, количество стабильных макроагрегатов возрастает, а углерод и азот в них лучше защищены (фиксированы). В общем, скорость минерализации азота растет, когда почву обрабатывают, а также с увеличением масштабов применения

азотных удобрений. Состояние растительных остатков также влияет на скорость минерализации азота почвы. Будучи заделаны в почву, они разлагаются в 1,5 раза быстрее, чем оставленные на поверхности. Тем не менее, тип остатков и их взаимодействие с азотом почвы влияют на минерализацию ПОВ, на скорость эмиссии из почвы углерода и азота.

Скорость разложения растительных остатков зависит от их химического состава [17]. Поэтому, наряду с первоначальным остаточным содержанием азота, лигнина, полифенолов и растворимого углерода, для оценки качества остатков используют традиционный критерий – соотношение содержания углерода и азота (C : N). В процессе разложения ПОВ неорганический азот может быть иммобилизован, когда в почву вносят органическое вещество с широким соотношением C : N. Растительные остатки имеют пониженное содержание азота (~1%) и тем более фосфора (~0,1%). Лигнин и полифенолы растительных остатков играют значимую роль в формировании ПОВ, но не служат источником биофильных элементов для культуры.

Фосфор. Многочисленными исследованиями доказаны более высокие уровни содержания доступного фосфора при нулевой технологии возделывания в сравнении с традиционной. В то же время, экологической проблемой является возможность попадания избытка растворимого фосфора в поверхностные стоки из-за его накопления в поверхностном слое почвы, что обычно наблюдают при снижении интенсивности ее обработки. Если поверхность поля во время вегетационного периода часто пересыхает, одним из путей оптимизации фосфорного питания может быть его более глубокое внесение. Когда поверхность замульчирована или применяют нулевую технологию, либо накопилась “подушка” из растительных остатков, то почва будет более влажной, и в этом случае внесение фосфора на большую глубину не потребуется.

По данным 7-летних исследований Курганского НИИСХ при содержании в выщелоченном черноземе P_2O_5 40–50 мг/кг удобрение бессменной пшеницы, возделываемой по стерновому фону, только N25–75 оказалось малоэффективным. Совместное внесение азотных и фосфорных удобрений обеспечило повышение урожайности бессменной пшеницы на 4–7 ц/га. Авторы рекомендуют вносить P15–20 в рядки при посеве, что компенсирует его вынос урожаем. Большие дозы фосфора при бесплужном земледелии локализуются в верхнем слое почвы и проявляют последствие в течение нескольких лет [12].

Калий, кальций, магний. Нулевая технология способствует сохранению и повышению содержания калия в верхнем слое почвы, где локализована основная масса корней растений. Относительно высокое содержание доступных форм калия наблюдаются также в верхних слоях почвы при снижении интенсивности обработки. Увеличение оставляемых на поверхности поля растительных остатков также может привести к повышению содержания обменного калия в верхнем слое почвы. Этот процесс в значительной степени зависит от биологических особенностей возделываемых культур.

Согласно большинству исследований, обработка почвы не влияет на содержание в почве доступных форм кальция и магния, особенно там, где ЕКО обеспечивается содержанием глинистых частиц. Локализация Ca^{2+} и Mg^{2+} по профилю почвы не зависит от ее обработки и возделываемой культуры, хотя экспериментальных данных на этот счет пока недостаточно.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ГЕОБИОНТЫ

Оставление растительных остатков на поверхности почвы и обогащение севооборотов культурами разных видов — причина серьезных изменений в численности и составе почвенной фауны и флоры, включая вредную и полезную биоту. Геобионты, реагируя на методы обработки почвы и изменения ее физико-химических свойств, в свою очередь, влияют на биогеохимические циклы биофильных элементов и трансформацию ПОВ. Взаимодействие геобионтов и наземно-почвенной биоты влияет на возделываемые культуры как положительно, так и негативно. Разнообразная почвенная фауна включает микрофауну (простейшие, нематоды), мезофауну (микроартроподы, ногохвостки, малощетинковые черви-олигохеты и др.) и макрофауну (дождевые черви, крупные членистоногие и пр.).

Микрофлора и микрофауна почвы. Оптимальное функционирование и разнообразие микробной биоты почвы — основа устойчивой экономики и организации растениеводства. Методы использования почвы существенно влияют на почвенные микроорганизмы и микробные процессы, они реагируют на количество и качество вносимых в агроценоз растительных остатков, соотношение между массой оставленных на поверхности поля и привносимых растительных остатков, а также удобрений [3].

Микрофлора почвенной экосистемы обладает способностью аккумулировать биофильные эле-

менты (С, N, P, S), а также ПОВ и осуществлять их круговорот. Она характеризуется высокой скоростью оборота по отношению к общей массе ПОВ. Аборигенная почвенная микрофлора обладает некоторыми специфическими характеристиками: а — высоко отзывчива на изменения в технологиях, б — физически стабилизирует почвенные агрегаты, в — супрессирует развитие почвенных фитопатогенов, конкурируя с ними за ресурсы, тем самым угнетая их [24].

Поступление органического углерода из биомассы растений — это, как правило, доминирующий фактор, определяющий массу микробной биоты. Непрерывное и, по возможности, равномерное поступление углерода из растительных остатков — основной источник энергии почвенных микроорганизмов. Сохранение растительных остатков на поверхности почвы может привести к значительному повышению численности микрофлоры, накоплению углерода и азота в верхних слоях почвы. На большей глубине (5–10 и 10–15 см) [25] микробная биомасса, содержание углерода и азота меняются, как правило, незначительно.

Оптимальное функциональное разнообразие, включая видовое разнообразие покоящихся микроорганизмов, а также разнообразие и пластичность их сообществ — признаки оздоровления почвы, поскольку именно эти характеристики позволяют экосистеме стабильно поддерживать присущие ей функции. Невозможно корректно определить функциональное разнообразие микробных сообществ в почве только на основе численности и структуры сообществ, поскольку жизнеспособные микроорганизмы часто присутствуют в почве в состоянии покоя (в неактивной форме). Эти покоящиеся микроорганизмы не учитываются большинством методик. Прямое измерение функций микробных сообществ дает важную информацию о реальной активности почвенной микробной биоты.

При нулевой технологии с сохранением растительных остатков отмечено более широкое функциональное разнообразие почвенных микроорганизмов, чем при традиционной обработке почвы. Пока растительные остатки сохраняются, различия физиологических функций микробной биоты на уровне сообществ между нулевой и традиционной обработками почвы проявляются минимально. Если же растительные остатки удаляют, то при нулевой обработке функциональное разнообразие микробной биоты уменьшается [21]. Корни растений играют важную роль в формировании микробного сообщества посредством широкого спектра экссудатов, состав которых зависит от

вида растений [5]. В зависимости от этого меняется также и структура бактериальных сообществ. Сказанное указывает на важность введения длинноротационного севооборота для поддержания биоразнообразия геобионтов и здоровья почвы [26].

Почвенные ферменты играют важную роль в активизации энергетических реакций, необходимых для разложения органического вещества и непрерывного функционирования биогеохимических циклов биофильных элементов. Элементы технологии – нулевая обработка почвы, севооборот, мульча – по-разному воздействуют на почвенные ферменты. Их активность обычно снижается с глубиной почвы. Различия в активности ферментов в зависимости от технологии в наибольшей степени регистрируются в верхних слоях почвы. Севооборот и растительные остатки существенно влияют на активность почвенных ферментов при сокращении чистых паров. При этом повышаются гетеротрофная активность деструкторов ПОВ и активность ферментов, ответственных за мобилизацию фосфора.

Бактерии, грибы, актиномицеты, дрожжи, простейшие, водоросли – это наиболее распространенные и метаболически активные популяции микрогеобионтов. Грибы служат пищей для нематод, клещей и других, более крупных геобионтов, однако они сами могут поражать различные организмы. Микромицеты, разлагая органические соединения, активно участвуют в круговороте биофильных элементов. Широко распространены арбускулярные микоризные грибы – симбионты большинства высших растений, включая возделываемые культуры. Внешний мицелий арбускулярных микоризных грибов действует как продолжение корней растения-хозяина, поглощая питательные элементы, в особенности ограничено подвижные, такие как P, Cu и Zn. Арбускулярные микоризы антагонистически воздействуют на патогены и иных обитателей ризосферы.

В пищевых цепях микроорганизмов при нулевой технологии доминируют, как правило, грибы, в то время как в традиционных системах – бактерии, в итоге соотношение численности микробиоты сдвигается в пользу сапротрофных почвенных микромицетов [27]. Разрушение при традиционных обработках почвы сети микоризных грибов – важного источника инокулюма микромицетов – вероятный механизм деколонизации корней арбускулярной микоризой. Растительные остатки – это непрерывный источник энергии и пищи для микроорганизмов, а мульча – индуктор развития их гетеротрофных форм, особенно грибов и актиномицетов, потребляющих трудноразлагаемые растительные остатки. Со-

кращение механических обработок способствует также увеличению численности некоторых бактерий – антагонистов фитопатогенов (*Agrobacterium* spp., *Pseudomonas* spp.).

Поскольку при нулевой технологии в массе растительных остатков доминируют грибы, то питающиеся ими почвенные нематоды преобладают в слое 0–5 см почвы. Сохранение растительных остатков повышает плотность популяций свободноживущих (полезных) нематод; традиционная обработка, независимо от оставления растительных остатков, подавляет фитопатогенные нематоды. Численность популяции нематод, питающихся бактериями, значительно больше при традиционной обработке почвы (в сравнении с нулевой обработкой и сохранением растительных остатков) [28].

Заселение влажной почвы фитопатогенными нематодами варьирует в диапазоне от 2×10^5 (сухая почва) до $>3 \times 10^7$ особей/м². Рост потерь урожая от них при традиционных технологиях наиболее вероятен при дефиците влаги в почве. В экономическом отношении важны несколько видов фитопаразитических нематод, например, *Pratylenchus thornei*, которые приводят к потере до 40% урожая. Почвенные нематоды по-разному реагируют на степень обработки почвы и ее мульчирование. Полагают, что численность популяций их естественных врагов – паразитов нематод – возрастает при минимизации обработки почвы [28].

Болезни, передающиеся через почву. Снижение интенсивности обработки почвы оказывает неоднозначное действие на разные виды фитопатогенов. Это определяется стратегиями их выживания и жизненных циклов. В наибольшей степени от обработки почвы страдают виды, проводящие в почве одну или несколько жизненных стадий. Когда поверхностная обработка сочетается с сохранением растительных остатков, то это обеспечивает и факультативных патогенов, и антагонистов субстратом для роста и оптимизирует условия их споруляции. Многие фитопатогены используют остатки урожая основной культуры в качестве промежуточной пищевой базы и фактора передачи до перехода к заражению растения-хозяина. Это разнообразные грибы – факультативные фитопатогены, поражающие листья, стебли и соцветия, формирующие свои репродуктивные и покоящиеся структуры в мертвой ткани растения-хозяина. Важно, что зараженные растительные остатки, оставленные нетронутыми в почве и на ее поверхности – опаснейший источник инфицирования урожая следующей культуры [29].

Традиционные патогенные микромицеты – возбудители корне-клубневых инфекций – широко распространены на зерновых культурах при нулевой технологии возделывания. В их числе *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.), Arx & Olivier var. *tritici* – возбудитель оphiоboлезной корневой гнили (син. *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* (Sacc.)); грибы рода *Rizoctonia* – возбудители корневой и прикорневой гнилей зерновых культур, а *Rizoctonia solani* Kühn. – риктониза картофеля и других культур. Грибы рода *Pythium* индуцируют выпревание, корневую гниль всходов и другие болезни сельскохозяйственных растений; грибы рода *Fusarium* вызывают фузариозную корневую гниль и увядание многих культур; несовершенный гриб *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. вызывает обыкновенную (гельминтоспориозную) корневую гниль зерновых злаков [3, 29, 30]. Все эти фитопатогены хорошо адаптированы к почвенной экосистеме, существенное изменение приемов обработки почвы не оказывает на них серьезного влияния. По-видимому, только кардинальное изменение технологий возделывания совокупно с климатическими факторами может привести к сукцессии доминирующих видов в патоккомплексах, элиминации или интродукции отдельных видов и групп фитопатогенов [30].

Хорошо изучено влияние возбудителей гельминтоспориозно-фузариозных корневых гнилей на яровые пшеницу и ячмень, выращиваемые при традиционных обработках почвы [29, 31, 32]. Однако оценке последствий ПРЗ на заболеваемость зерновых культур корневыми гнилями посвящены немногочисленные исследования, а полученные данные зачастую противоречивы [15, 27, 33–36]. Оставление растительных остатков на поверхности способствует снижению температуры, повышению влажности верхнего слоя почвы и ее уплотнению. Эти условия благоприятны для некоторых возбудителей корневых инфекций, индуцируя, например, фузариозные и питиозные корневые гнили [30, 37].

Севооборот может уменьшить распространение патогенных микроорганизмов, сохраняющихся на растительных остатках и в почве. В условиях монокультуры формируются наиболее агрессивные популяции почвенных фитопатогенов, что приводит к наибольшему снижению урожайности [26]. Двухлетний плодосмен, включающий одно паровое поле, может существенно снизить давление патогенов на почву, изменив состав ее микробиоты. Чтобы севооборот элиминировал возбудителей питиозной и ризоктониозной корневых гнилей, он должен включать поле чистого пара, поскольку эти фитопатогены

инфицируют различные культуры. В то же время, приемлемые для фермеров севооборота должны быть экономически обоснованными.

Поверхностная обработка в сочетании с остатками растений косвенно положительно влияют на видовой состав микробного сообщества почвы за счет повышения влажности и оптимизации температуры почвы. Изменения в содержании ПОВ при нулевой обработке с сохранением растительных остатков также способствует росту численности и разнообразия микробоценоза в поверхностном (0–10 см) слое почвы. Следовательно, минимальная обработка почвы в сочетании с ее мульчированием создает среду, более антагонистичную для фитопатогенов из-за оптимизации конкуренции и антибиоза микроорганизмов-супрессоров [24].

Несколько грибных и бактериальных видов играют важную роль в биозащите восприимчивых культур от возбудителей корневых гнилей и в поддержании здоровья почвы. В их числе псевдомонады, многие виды почвенных актиномицетов (*Actinomycetes*), продуцирующие антибиотики. Некоторые непатогенные формы рода *Fusarium* spp. также известны как агенты биологической защиты в отношении возбудителей корневых гнилей.

Получены доказательства тому [38], что нулевая обработка почвы с применением севооборота и сохранением растительных остатков, повышая влажность почвы, улучшала ее структуру, а также доступность биофильных элементов в большей степени, чем традиционная обработка, что обеспечило более высокий урожай. ПРЗ способствовало увеличению биоразнообразия почвенной микрофлоры вследствие лучшей обеспеченности почвы водой, макро- и микроэлементами. В долгосрочной перспективе нулевая технология с сохранением растительных остатков создает благоприятные условия для развития антагонистов и хищников в почве агроценоза, повышает его экологическую устойчивость. Следовательно, в условиях ПРЗ существует потенциальная возможность для более эффективного подавления патогенных микроорганизмов.

Мезо- и макрофауна почвы. Мезофауна почвы представлена микроскопическими членистоногими, преимущественно ногохвостками и клещами. Ногохвостки обычно элиминируют при обработке, хотя в некоторых исследованиях сообщается о противоположном эффекте, либо об отсутствии влияния обработки. Клещи более чувствительны к обработке почвы, чем микроорганизмы: отмечен либо рост их численности, либо

ее сокращение (от умеренного до экстремально-го). Это объясняется специфическими видовыми различиями. Гибель микроскопических членистоногих, мезо- и макрофауны в значительной степени вызвана физическим нарушением их биотопов при вспашке почвы.

Макрофауна почвы наиболее чувствительна к технологиям ПРЗ. Меньше повреждаются виды, обладающие повышенной подвижностью и высоким потенциалом роста численности популяции. Обработка почвы, разрушая среду обитания макрофауны, сильно снижает численность популяций, как преобразователей растительного покрова, так и инженеров экосистем. Заделка растительных остатков в почву может ограничить процессы ее реколонизации почвенной биотой за счет перераспределения источника питания, а также значительных изменений влажности и температуры.

Положительное влияние дождевых червей на качество почвы отмечено не только из-за обилия их биомассы, но и вследствие функционального разнообразия их сообществ. Их подразделяют на 3 условные морфо-экологические группы: а – эпигейные, обитающие на поверхности почвы и питающиеся растительными остатками; б – норные, питающиеся смесью растительных остатков и почвенных минералов, роющие вертикальные норы с отверстиями на поверхности; в – эндогейные, населяющие минеральные горизонты и питающиеся ингредиентами ПОВ. Для поддержания структуры почвы необходимо наличие представителей всех групп червей. Установлено, что несбалансированные сочетания видов дождевых червей из-за нарушений при вспашке почвы, уменьшающее инфильтрацию воды, служило причиной эрозии почвы.

Важно, что численность червей, их разнообразие и активность увеличиваются при ПРЗ [3]. Хотя обработка почвы является основным фактором, нарушающим их популяцию, оставление пожнивных остатков весьма важно, поскольку черви не обладают способностью поддерживать в себе постоянное влагосодержание. Их экскременты способствуют созданию стабильных органо-минеральных комплексов, ограниченно разлагающихся и благоприятствующих устойчивости макроагрегатов почвы. Если длительному воздействию подвергаются свежие выделения макрофауны, то они могут быть легко разрушены. Это усиливает эрозию почвы и утрату биофильных элементов. Активность дождевых червей связывают с усилением инфильтрации влаги при нулевой обработке почвы, что происходит вследствие увеличения шероховатости ее поверхности

и повышения микропористости, особенно когда численность популяций дождевых червей значительна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последнее столетие повсеместно в мире состояние почв агросферы существенно ухудшилось. В передовых странах одним из традиционных стратегических направлений стабилизации урожаев экономически значимых культур продолжает оставаться систематическое внесение высоких доз минеральных удобрений, преимущественно азотных. В то же время, опыт последних десятилетий, обобщенный экспертами ФАО, свидетельствует, что важным стратегическим направлением (особенно в регионах с экстремальными природно-климатическими условиями) и надежным фундаментом адаптивного растениеводства становится почвозащитное ресурсосберегающее земледелие. Это – значимая часть глобальной агроресурсной концепции ФАО “сохранить и приумножить”, относящейся и к почве агроценозов.

Почвозащитные ресурсосберегающие технологии основаны на нескольких базовых компонентах, включающих: а – сбережение естественной структуры почвы (посредством систем no-till, mini-till), б – экономически приемлемые севообороты с фитосанитарными предшественниками, в – сохранение растительных остатков *in situ*, г – ассортимент адаптивных болезнестойчивых сортов, д – системы удобрения в переходный к почвозащитным технологиям период; е – системы адаптивно-интегрированной защиты посевов от фитопатогенов, фитофагов и химической защиты от сорной растительности. В отдельных регионах страны почвозащитное земледелие, базирующееся на эксплуатации здоровой и плодородной почвы, уже в краткосрочной перспективе позволит увеличить производство агропродукции и обеспечить долгосрочную устойчивость растениеводческой отрасли.

В ближайшей перспективе почвозащитные технологии должны индуцировать: а – прекращение ветровой эрозии почвы, б – рост ее биопродуктивности, в – бездефицитный баланс гумуса – атрибута здоровья почвы.

В то же время, исследователи и землепользователи пока не располагают необходимой научной информацией об особенностях накопления и сохранения почвенного органического вещества на разных (по продолжительности) этапах применения почвозащитных ресурсосберегающих технологий, об особенностях систем защиты агроцено-

зов от вредных биоагентов в важнейших агропроизводственных регионах страны. Для восполнения этого пробела актуальны: а – система многолетних региональных экспериментов по оценке эффективности этих технологий, б – региональный мониторинг, включающий критический анализ их эффектов – средообразующих, ресурсосберегающих и фитосанитарных, в – систематическая коррекция технологий по результатам мониторинга. Полагаем, что природоподобная агротехнологическая стратегия особенно в условиях экстремального земледелия – перспективная, безальтернативная, нуждающаяся в серьезном научном обеспечении и перманентной региональной апробации.

Почвозащитное ресурсосберегающее земледелие – это не только существенный вклад в укрепление продовольственной безопасности страны, в оптимизацию ее экосферы, в сбережение природных и материальных ресурсов, но также (что немаловажно!) – это повышение занятости, производительности, доходности и качества жизни аграрного социума. В итоге – существенное улучшение производственных и средообразующих функций агроэкосистем, в конечном счете – восстановление частично деградированных земель, повышение их плодородия, оздоровление почвы и агросферы в целом.

Немаловажно также, что системные комплексные исследования в сфере почвозащитного ресурсосберегающего земледелия – это инновационный вклад в научное обеспечение и реализацию актуальнейших приоритетов научно-технологического развития России, недавно (12–14.11.2018 г.) детально обсужденных общим собранием РАН. В сфере АПК таким важнейшим приоритетом обозначен “переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания”. Очевидно, что защита, сбережение, оздоровление почв агросферы – одно из имманентных условий реализации этого важнейшего приоритета научно-технологического развития АПК страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальное почвенное партнерство – Всемирная хартия почв. Рим, 6–13.06.2015. www.fao.org/geonet/network. Пересмотренная Всемирная хартия почв. ФАО, 2015. С. 3–6.
2. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Надыкта В.Д. Актуальность для России руководящих принципов ФАО по реабилитации деградированных почв // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Краснодар: ВНИИБЗР, 2018. Вып. 10. С. 533–545.
3. Верхулст Н., Франсуа И., Говаэртс Б. Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие: как улучшить качество почв и создать устойчивые системы сельскохозяйственного производства? Теория и методика исследований. Анкара, 2015. 175 с. (www.fao.org/ag/ca).
4. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии: Учеб.-к. СПб.: Лань, 2015. 464 с.
5. Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю. Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве. М.: Агрорус, 2016. 288 с.
6. Кудяров В.Н., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию // Агрохимия. 2017. № 6. С. 3–11.
7. Торопова Е.Ю., Соколов М.С. Роль сорта в контроле обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы // Агрохимия. 2018. № 11. С. 58–69.
8. Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Глинушкин А.П., Семенов А.М. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества // Агрохимия. 2018. № 5. С. 83–100.
9. Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю. Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор ее супрессивности // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. № 1. С. 4–12.
10. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
11. Gregorich E.G., Drury C.F., Baldock J.A. Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation // Canad. J. Soil Sci. 2001. V. 81. P. 21–31.
12. На пути к бесплужному земледелию / Под ред. Гилева С.Д. Куртамыш: Курганский НИИСХ, 2015. 312 с.
13. Кирюшин В.И. Минимизация обработки почвы: перспективы и противоречия // Земледелие. 2006. № 5. С. 12–14.
14. Холмов В.Г., Юшкевич Л.В. Особенности обработки почвы под яровую пшеницу на черноземах лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2010. № 2. С. 26–28.
15. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Юшкевич Л.В., Захаров А.Ф. Фитосанитарные последствия приемов обработки почвы в лесостепи Западной Сибири // Вестн. БГСХА им. В.Р. Филиппова. 2012. № 3(28). С. 86–91.
16. Кудяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1049–1060.
17. Новиков А.А., Кисаров О.П. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах // Политемат. сетевой электр. научн. журн. Кубан. ГАУ. 2012. № 78. С. 643–652.

18. Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Евдокимов И.В., Быховец С.С., Кузяков Я.В., Бюггер Ф. Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве // Почвоведение. 2011. № 6. С. 685–698.
19. Ларионова А.А., Мальцева А.Н., Лопес де Гереню В.О., Квиткина А.К., Быховец С.С., Золотарева Б.Н., Кудяров В.Н. Влияние температуры и влажности на минерализацию и гумификацию листовного опада в модельном инкубационном эксперименте // Почвоведение. 2017. № 4. С. 438–448.
20. Курачев В.М., Батурина В.Б. Темпы разложения растительных остатков в почвах техногенных ландшафтов // Сибир. экол. журн. 2005. Т. 12. № 5. С. 789–793.
21. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборота // Агрохимия. 2016. № 6. С. 3–8.
22. Алехин В.Т. Основные проблемы при переходе к органическому земледелию // “Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Становление и перспективы развития органического земледелия в РФ”. Вып. 10. Мат-лы 10-й междунар. научн.-практ. конф., ВНИИБЗР. Краснодар, 2018. С. 484–487.
23. Govaerts B., Verhulst N., Castellanos-Navarrete A., Sayre K.D., Dixon J., Dendooven L. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality // Critic. Rev. Plant Sci. 2009. V. 28. № 3. P. 97–122.
24. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Посажеников С.Н. Влияние культурных растений на сапротрофные микроорганизмы и супрессивность почвы // Докт. науки и техн. АПК. 2018. № 7. С. 17–20.
25. Govaerts B., Mezzalama M., Unno Y., Sayre K.D., Luna-Guido M., Vanherck K., Dendooven L., Deckers J. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity // Appl. Soil Ecol. 2007. V. 37. P. 18–30.
26. Торопова Е.Ю., Посажеников С.Н., Мармулева Е.Ю. Системная фитосанитарная роль предшественников в южной лесостепи Новосибирской области // Сибир. вестн. сел.-хоз. науки. 2014. № 4. С. 4–11.
27. Селюк М.П. Влияние агроэкологических факторов на развитие корневой гнили яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири: Дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2017. 149 с.
28. Yeates G.W., Hughes K. Effect of three tillage regimes on plant- and soil nematodes in an oats/maize rotation. Pedobiosols, southern Ontario // Canad. J. Soil Sci. 1990. V. 79. P. 149–160.
29. Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотология / Под ред. Соколова М.С., Чулкиной В.А. Новосибирск, 2011. 711 с.
30. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патоккомплексе корневых гнилей зерновых культур // Агрохимия. 2016. № 5. С. 73–82.
31. Койшибаев М. Болезни пшеницы. FAO, Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, 2018. 240 с. (www.fao.org/publications).
32. Чулкина В.А. Корневые гнили хлебных злаков в Сибири. Новосибирск: Наука, СО, 1985. 190 с.
33. Fernandez M.P., Huber D., Basnyat P., Zentner R.P. Impact of agronomic practices on populations of *Fusarium* and other fungi in cereal and noncereal crop residues on the Canadian Prairies // Soil Tillage Res. 2008. V. 100. № 1. P. 60–71.
34. Schroeder K., Paulitz T. Root diseases of wheat and barley during the transition from conventional tillage to direct seeding // Plant Dis. 2006. № 90. P. 1247–1253.
35. Власенко Н.Г., Коротких Н.А., Кулагин О.В., Слободчиков А.А. Фитосанитарное состояние посевов яровой пшеницы при технологии No-till // Защита и карантин растений. 2014. № 1. С. 18–22.
36. Сафин Х.М., Аюпов Д.С., Давлетишин Ф.М. Первые успехи и неудачи внедрения системы земледелия No-till в республике Башкортостан // Сберегающее (биологическое) земледелие в современном сельском хозяйстве. Уфа, 2014. С. 5–10.
37. Горьковенко В.С. Распространение грибов рода *Rhizium Pringsh.* в агроценозе яровой пшеницы // Защита и карантин растений. 2011. № 4. С. 51–54.
38. Govaerts B., Mezzalama M., Sayre K.D., Crossa J., Nicol J.M., Deckers J. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands // Appl. Soil Ecol. 2006. V. 32. P. 305–315.

Technological Features of Soil-Protecting Resource-Saving Agriculture (in Development of the FAO Concept)

**M. S. Sokolov^{a,#}, A. P. Glinushkin^a, Yu. Ya. Spiridonov^a,
E. Yu. Toropova^{a,b}, and O. D. Filipchuk^a**

^a All-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institut 5, Moscow region, p/o Bolshye Vyazemy 143050, Russia

^b Novosibirsk State Agrarian University
ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia

[#] E-mail: sokolov34@mail.ru

Over the past century the agrosphere soil condition has deteriorated significantly everywhere in the world. In advanced countries, the systematic use of mineral fertilizers in large amounts, mainly nitrogen fertilizers,

continues to be one of the strategic ways to obtain acceptable yields of economically significant crops. At the same time, the global experience of recent decades, summarized by FAO experts, shows that the important foundation for adaptive crop production in regions with extreme eco-resources can and should be soil-protective, resource-saving farming (hereinafter – soil-protective technologies) – “to preserve and increase” applicable to the soil and other exhaustible natural resources. These soil-protective basic technologies have key components: a – no-till, mini-till systems, b – economically acceptable long-time rotations, c – plant residues conservation, d – adaptive varieties assortment, e – fertilizer systems and chemical weeds control. Zero soil tillage technology with post-harvest residues preservation creates favorable conditions for the development of antagonists and predators, increases the agrocenosis ecological stability due to the pathogenic microorganisms suppression. These technologies allow to increase the agricultural productivity, to ensure the the crop industry sustainability based on the fertile and healthy soil exploitation. The technologies allow to optimize the use of nitrogen and organic fertilizers, to ensure the growth of biological productivity and the deficit humus balance – an attribute of soil health. Although soil conservation agriculture (including sequestration of atmospheric carbon by the soil) needs additional scientific study, most experts consider it as a real, nature-like agrotechnological strategy. Its implementation will significantly improve the production and environment-forming functions of agro-ecosystems, protect and, if necessary, improve the degraded soil, significantly reduce production costs for its processing. Soil-saving, resource-saving agriculture is a real contribution to strengthening food security and preserving the country’s ecosphere, and also – not least – to improving productivity, profitability and life quality for an agrarian society.

Key words: soil protection technologies, resource saving, soil health, no-till, mini-till, geobionts, humus.