

АГРОХИМИЯ
И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.8

УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ
И ПРОДУКТИВНОСТЬЮ АГРОЦЕНОЗОВ
В АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

© 2019 г. В. И. Кирюшин*

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия

*e-mail: vkiryushin@rambler.ru

Поступила в редакцию 03.07.2018 г.

После доработки 10.12.2018 г.

Принята к публикации 26.12.2018 г.

С позиций оптимизации сельскохозяйственного природопользования естественное и искусственное плодородие почв и продуктивность агроценозов рассматриваются как экологические и социально-экономические функции почв и агроландшафтов. Они регулируются всеми средствами адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) по принципу устранения лимитирующих условий или адаптации к ним. АЛСЗ формируются на основе математических моделей взаимодействия элементов земледелия и экологических факторов, выявляемого многофакторными полевыми экспериментами. В результате многолетних стационарных исследований, организованных автором в различных подзонах Западной Сибири, обоснована возможность сокращения чистых паров, перехода на беспаровые севообороты в лесостепной зоне, освоения мульчирующих обработок почвы и их минимизации при применении минеральных удобрений и других агрохимических средств. Установлено уменьшение потерь гумуса и минерализации азота, сокращение интенсивности выделения CO_2 с поверхности почвы при минимизации обработки черноземов. Рассматриваются возможности и условия прямого посева. Обосновывается роль минеральных удобрений как системообразующего фактора адаптивно-ландшафтного земледелия и важнейшего условия экологической оптимизации природопользования.

Ключевые слова: экологические функции, агробиогеноценозы, гумус, азот, агротехнологии, оптимизация севооборотов, минимизация обработки почвы, чистый пар, удобрение, моделирование систем земледелия

DOI: 10.1134/S0032180X19070062

АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫЕ СИСТЕМЫ
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ КАК УСЛОВИЕ
ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

За последние четверть века в России сложился определенный опыт разработки и освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия, которые явились продолжением работ по внедрению зональных систем земледелия и интенсивных агротехнологий, начавшемуся в 80-х гг. XX в. Все это происходило на мировом фоне перманентной агротехнологической революции со всеми ее успехами в небывалом росте урожайности и одновременно ущербом, наносимым окружающей среде. Мощным импульсом преодоления противоречий интенсификации и экологизации земледелия и в целом природопользования послужило принятие биосферной парадигмы природопользования в терминах устойчивого развития в 1992 г. в Рио-де-Жанейро [20]. В том же году сессия Россельхозакадемии декларировала курс на “создание экологически и экономически сбалансированных вы-

сокопродуктивных агроландшафтов”. В результате активизации этой работы появилось множество концепций систем земледелия, растениеводства и землеустройства, рассмотренных в работе [11]. Наиболее основательное развитие получила концепция адаптивно-ландшафтного земледелия, в значительной мере унаследованная от почвозащитной системы Бараева [3] на этапе ее зонально-провинциальной дифференциации [4]. Сущность ее заключается в адаптации систем земледелия применительно к различным категориям ландшафтов (агроэкологическим группам земель), уровням интенсификации производства и хозяйственным укладам, исходя из биологических требований растений и востребованности продукции рынком. Концептуальная основа адаптивно-ландшафтного земледелия предполагает приведение его в соответствие с экологическими законами (экологическим императивом) и заключается в создании ландшафтно-экологической структуры, обеспечивающей оптимальные условия энер-

гомассопереноса, поддержание биоразнообразия и экологическую стабильность территории. Для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) разработаны типология земель, методология структурно-ландшафтного анализа территории, ГИС агроэкологической оценки земель [11].

Реализация данной концепции началась с разработки математических моделей по данным организованных автором многофакторных полевых экспериментов по изучению взаимодействия элементов земледелия между собой и экологическими факторами [19, 22, 25]. На основе оценки этого взаимодействия формируются севообороты, системы обработки почвы, удобрения и защиты растений. В рамках АЛСЗ разрабатываются пакеты агротехнологий применительно к различным уровням интенсификации земледелия: экстенсивных, нормальных, интенсивных, точных. Они определяются биологическими требованиями и генетическим потенциалом сортов растений – соответственно толерантных, пластичных, интенсивных. Экстенсивные агротехнологии ориентированы на использование естественного плодородия почв, возделывание толерантных сортов с крайне ограниченным использованием агрохимических средств. Они сопровождаются истощением и деградацией почв, особенно маргинальных. К нормальным относятся почвозащитные агротехнологии, сбалансированные по дефицитным элементам питания, обеспечивающие удовлетворительное качество продукции с использованием пластичных сортов. В интенсивных агротехнологиях осуществляется управление продукционным процессом интенсивных сортов по микропериодам органогенеза с оптимальным использованием агрохимических и биологических средств. В точных агротехнологиях достигается максимальная эффективность выполнения операций дистанционными и новейшими информационными средствами, сокращающими риски загрязнения продукции и окружающей среды. Соответственно достигаются компромиссы между интенсификацией и экологизацией земледелия. Основной вектор развития агротехнологий – сокращение пестицидов и расширение биологических методов (устойчивые сорта, биопрепараты, энтомофаги и др.). Таким образом, АЛСЗ представляют довольно сложный комплекс мер по управлению плодородием почв, продуктивностью агроценозов и поддержанию устойчивости агроландшафтов.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬЮ АГРОЛАНДШАФТОВ

С развитием биосферной парадигмы природопользования понятие плодородия почвы как спо-

собности удовлетворять потребности растений в земных факторах и обеспечивать их продуктивность существенно расширяется как в экономическом, так и, в особенности, экологическом аспектах. Принципиальным отличием плодородия почв от различных питательных субстратов, является самовоспроизводство почвы и выполнение ею экологических функций. Почва не является самодостаточной категорией с точки зрения обеспечения продуктивности угодья, за нее отвечает в целом биогеоценоз или агробиогеоценоз, в котором участвуют множество факторов, в том числе и космических. Почва участвует в их перераспределении и трансформации. Такое разнообразие взаимосвязанных условий продуктивности фитоценозов определяет высказанное Вернадским [5] представление о плодородии биосферы. В этой связи уместно говорить об экологических функциях биосферы и конкретных ландшафтов, которые определяют продуктивность биогеоценозов – биоценотических, экотопических (атмосферных, литосферных, гидрологических и гидрогеологических), биоэкологических, в том числе об экотопических и биопедоэкологических функциях почв [12]. Последние означают собственно плодородие почв.

В агробиогеоценозах наряду с экологическими функциями ландшафта проявляются различные функции человека. В результате их интеграции возникают социально-экономические функции ландшафта, направленные на удовлетворение потребностей человека. Формирование их связано с трансформацией экологических функций при той или иной степени их сохранения. Например, функция биоразнообразия сокращается при земледельческом освоении территории, но в определенной мере восполняется за счет создания человеком новых видов и сортов растений. Биопродукционная функция трансформируется в агробиотехнологическую. При экстенсивном земледелии все экологические функции, связанные с фотосинтезом существенно сокращаются. Компенсация их может достигаться за счет функций регулирования круговорота веществ, управления режимом органического вещества, мелиоративной, агробиогеоценотической (проектирования АЛСЗ оптимальных агроландшафтов) функций. За счет мелиорации и других средств можно сформировать ландшафты, превосходящие по продуктивности и экологическим параметрам природные. Таким образом, в той или иной мере может достигаться компенсация экологических функций, которые сокращаются или утрачиваются в техногенных ландшафтах. Экологические функции почв в агробиогеоценозах дополняются социально-экономическими, которые могут быть истощительными или, наоборот, регулируемыми. Они определяют так называемое экономическое или искусственное плодородие.

дие почвы. При этом чрезвычайно важно сохранять перечисленные экологические функции. Более того, при значительном повышении уровня интенсификации агротехнологий и, соответственно, агрохимической нагрузки необходимо усиление биоэкологических функций почв, которые должны дополняться специальными мерами по увеличению биогенности почв, повышению супрессивной способности за счет развития биотехнологий.

Агробιοгеоценотический подход к управлению продуктивностью агроценозов определяет суть адаптивно-ландшафтного земледелия. Механизм его заключается в последовательном устранении лимитирующих условий, которые подвержены регулированию, и адаптации к нерегулируемым условиям. В качестве инструментария выступает ГИС агроэкологической оценки и проектирования АЛСЗ. Приоритеты интенсификации возрастают от худших земель к лучшим (плакорным, полугидроморфным, черноземным и т. п.), где достигается наибольшая отдача от интенсивных агротехнологий с наименьшими экономическими и экологическими издержками. Это позволяет уменьшить в активном сельскохозяйственном обороте долю маргинальных земель. Использование в пашне эрозионных, солонцовых, литогенных и других неблагоприятных земель сопровождается их деградацией и не должно допускаться без специальных мелиоративных мероприятий. Критериями интенсификации агротехнологий являются окупаемость затрат и прибыль при безусловной их экологической безопасности.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ УГОДИЙ И СЕВООБОРОТОВ – ИСХОДНОЕ ТРЕБОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫМ ПЛОДОРОДИЕМ

Управление плодородием почв начинается с оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий, посевных площадей, севооборотов, противоэрозионной организации территории, рационального размещения культур и агротехнологий в соответствии с почвенно-ландшафтными условиями. Особое значение имеет установление рациональных размеров парового клина. Чистый пар, помимо его достоинств (повышение устойчивости производства зерна, преодоление засоренности посевов, обеспечение оптимального качества зерна и др.) имеет существенные недостатки, главными из которых являются сокращение поступления в почву органического вещества, усиление его минерализации, эрозионная опасность. Это дало повод Э. Тэйеру назвать чистый пар “чужой земледелия”. По нашим [16] и другим данным потери гумуса в черноземных почвах по чистому пару достигают 2.0 т/га против 0.2–0.5 т/га по зерновым культурам. В целом за период использова-

ния в зерно-паровых севооборотах черноземы потеряли 20–25% гумуса от исходного содержания в пахотном слое [16, 17]. В эрозионных ландшафтах потери гумуса существенно возрастают. Огромные площади смытых черноземов – результат экстенсивного земледелия с существенной долей чистого пара. Интенсивная минерализация органического вещества в паровых полях сопровождается накоплением минерального азота, часть которого не используемая растениями, особенно при недостатке фосфора, мигрирует за пределы корнеобитаемого слоя. Исследования, проведенные нами на опытных стационарах научных учреждений Россельхозакадемии в подзонах обыкновенных и южных черноземов Сибири и Зауралья [18] показали накопление нитратного азота в слое почвы 0–300 см до 300–500 кг/га и более. В черноземах, подстилаемых песками, заметные количества нитратов отмечены до глубины 500 см. Это явление наблюдается только при использовании почв в севооборотах с паром, и тем интенсивнее, чем больше доля чистого пара. В беспаровых севооборотах перемещение нитратов за пределы полуметрового слоя не происходит или оно невелико. Наиболее интенсивное накопление нитратов наблюдается в первые 2–3 десятилетия после подъема целины. Перемещение нитратов на большие глубины в почвах с непромывным водным режимом трудно объяснить движением их с капиллярной влагой. Вероятно, их перемещение происходит по пленочной воде.

Проблема чистого пара и его доли в севооборотах постоянно дискутируется. Между тем, многолетними опытами [19, 23, 25] показано, что в лесостепной зоне и в северной степи в условиях, где запасы влаги в почве по паровым полям и непаровым предшественникам близки, зерновые севообороты превосходят зерно-паровые и разница возрастает с увеличением применения удобрений. В степной зоне и, особенно, в сухой степи производство зерна без пара проблематично, однако имеются потенциальные возможности уменьшения его доли за счет сокращения потерь влаги (мульчирование, снегонакопительные кулисы и др.). Там, где чистый пар по тем или иным причинам сохраняет свое значение, необходимо совершенствование системы ухода за паровыми полями, направленное, в частности, на предотвращение потерь минерального азота, которое достигается применением фосфорных удобрений, оставлением соломы, сокращением обработки почвы.

Наряду с регламентацией доли чистого пара, возможной замены его занятыми парами, или сидеральными, оптимизация севооборотов связана с диверсификацией культур, в особенности расширением доли бобовых, крестоцветных культур, многолетних трав, применением уплотнительных пожнивных и поукосных посевов. Тем самым ре-

шаются задачи повышения продуктивности, улучшения фитосанитарной ситуации, преодоления эрозии, улучшения режима органического вещества почвы. Контроль поступления в почву растительных остатков в каждом поле должен стать одним из критериев формирования севооборотов. Все большее внимание в АЛСЗ уделяется дифференциации размещения культур и агротехнологий в соответствии с рельефом по условиям стока, влагообеспеченности, а в последние годы теплообеспеченности. Например, в проекте АЛСЗ, разработанном ОАО «Центр агротехнологий» при Почвенном институте им. В.В. Докучаева для ОАО «Роговатовская нива» Белгородской области спроектированы зерновые севообороты с кукурузой на южных склонах 3° – 5° в расчете на теплообеспеченность, достаточную для возделывания поздних гибридов. В поле после уборки озимой пшеницы с оставлением измельченной соломы в качестве мульчи высевают горчицу. Полученный стеблестой с зеленой массой 15 т/га и более уходит в зиму, обеспечивая равномерное снеготложение, впитывание талой воды и предотвращение эрозии благодаря мульче. Весной высевают кукурузу. Благодаря повышенной теплообеспеченности на южных склонах используются более поздние и, соответственно, более продуктивные гибриды, обеспечивающие урожайность 8 т/га и более.

В процессе изысканий и проектирования АЛСЗ выявилась проблема идентификации и использования лугово-черноземных и черноземно-луговых почв, доля которых в почвенном покрове оказывается значительно больше, чем показано на почвенных картах Гипроземов. Очевидно, это связано с недостатками их прежней диагностики или подъемом почвенно-грунтовых вод вследствие различных причин. Эти почвы значительно продуктивнее черноземов, особенно в отношении влаголюбивых культур и, как особая группа земель должны использоваться в специальных севооборотах с повышением доли многолетних трав по мере усиления гидроморфизма. Чистый пар здесь неприемлем.

Проблема освоения АЛСЗ, в особенности оптимизации структуры угодий, посевных площадей, севооборотов, на значительной территории России находится в противоречии с чрезмерной концентрацией производства зерна в узкоспециализированных предприятиях и концентрацией животноводства в мегакомплексах, что приводит к сокращению оптимальных предшественников для зерновых культур, а навоз превращается в отход и создается проблема его утилизации. В итоге нерационально используется почвенное плодородие, снижается продуктивность пашни, происходит загрязнение окружающей среды. Решение данной проблемы требует серьезных аграрных преобразований, корректировки аграрно-эконо-

мического курса, обоснования оптимальных вариантов специализации производства. Что касается специализации и соответственно сокращения набора культур, то она в определенной мере достигается частичной заменой функций севооборота пестицидами, обработкой, удобрениями и другими средствами, но при этом усиливается экологическая напряженность. Следует особо отметить, что незаменимой функцией севооборота является преодоление почвоутомления, которое проявляется при бессменном возделывании сельскохозяйственных культур. Соответственно севооборот остается незыблемой базовой категорией земледелия.

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Относительная взаимозаменяемость функций севооборотов, обработки почвы, удобрений и защиты растений определяет степени свободы в выборе систем обработки почвы. С интенсификацией земледелия она развивается в направлении минимизации и далее до прямого посева. Данная тенденция стала глобальной.

Первым крупным этапом минимизации обработки почвы в России явилась почвозащитная (плоскорезная) система с сохранением на поверхности пожнивных остатков. Разработанная под руководством А.И. Бараева в 60-х гг., она решила проблемы защиты почвы от ветровой эрозии и остановила экологическую катастрофу на востоке страны. Тогда же нами было установлено, что наряду с предотвращением эрозионных потерь обеспечивается также уменьшение биологических потерь гумуса. Исследованиями в многолетних полевых опытах ВНИИ зернового хозяйства на южных черноземах было показано существенное превышение содержания гумуса в пахотном слое при плоскорезной обработке по сравнению с системой вспашки, возрастающее с длительностью проведения опытов (табл. 1). Одновременно с уменьшением интенсивности минерализации органического вещества было показано снижение накопления минерального азота при плоскорезной обработке. В дальнейшем подобные результаты были получены многими исследователями в различных регионах. При этом наиболее контрастные различия в режимах органического вещества и азота отмечены на первых этапах освоения целинных земель.

Разработанная на севере Казахстана почвозащитная система оказала революционизирующее влияние на земледелие всей страны. В 70–80-х гг. началось ее движение по всем направлениям, стали появляться региональные разработки различных ее вариантов. В начале 80-х гг. нами была организована система многофакторных полевых экспериментов по изучению систем обработки

Таблица 1. Содержание гумуса (%) в южных черноземах в зависимости от системы обработки почвы в зерно-паровых севооборотах [16, 17]

Объект	Система обработки почвы	Слой почвы, см			
		0–10	10–20	20–30	30–40
ВНИИЗХ, 4-польный севооборот, 1959–1970 гг.	Отвальная	4.6	4.6	4.2	3.4
	Плоскорезная	4.9	4.8	4.1	3.4
ВНИИЗХ, 4-польный севооборот, 1959–1976 гг.	Отвальная	4.5	4.4	–	–
	Плоскорезная	4.9	4.6	–	–
Северо-Кулундинская сельскохозяйственная опытная станция, 4-польный севооборот, 1972–1982 гг.	Отвальная	2.7	2.5	–	–
	Плоскорезная	3.0	2.6	–	–
ВНИИЗХ, 5-польный севооборот, 1963–1970 гг.	Отвальная	3.8	3.7	3.5	2.7
	Плоскорезная	4.1	3.9	3.5	2.6

Примечание. Повторность отбора образцов 17–20-кратная. Статистическая обработка представлена в первоисточниках.

почвы и возможности их минимизации в Западной Сибири. В качестве объектов исследования были определены: чернозем выщелоченный (ОПХ “Элитное” Новосибирской области), чернозем выщелоченный слабосмытый на склонах 2°–4° (ОПХ “Черепановское” Новосибирской области), дерново-подзолистая почва (Томский совхоз-техникум Томской области), серая лесная почва (совхоз “Маслянинский” Новосибирской области), южный чернозем (колхоз им. С.М. Кирова Новосибирской области), солонцеватый чернозем и солонцы (Северо-Кулундинская сельскохозяйственная опытная станция). В 4–5-польных зерно-паровых севооборотах в сравнении с традиционной системой вспашки изучались глубокая безотвальная, мелкая плоскорезная, комбинированные отвально-безотвальные обработки и вариант “без основной обработки” (табл. 2). С 1980 по 1990 гг. исследования проводились под руководством и при непосредственном участии автора [13–15, 19], а в последующие годы они выполнялись его докторантами и сотрудниками Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства [7–9, 14, 15].

Результаты исследований, обобщенно представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что на всех изучавшихся почвах средняя урожайность зерновых за период наблюдения (5–8 лет) в системе вспашки и глубокой безотвальной обработки близка, а на минимальной (плоскорезной) и, особенно, в варианте без обработки наблюдается некоторое ее снижение. На фоне удобрения и комплексной защиты растений от вредных организмов эта закономерность сохраняется при более высоком уровне урожайности зерновых. Отмечена тенденция некоторого снижения урожайности по вспашке по сравнению с безотвальными обработками на южном черноземе. Это согласуется с ранее проведенными исследованиями в Северном Казахстане, свидетельствующими о пре-

имуществе плоскорезных обработок в сухие годы, а вспашки во влажные [3]. Чем засушливее климатические условия региона, тем больше преимущество плоскорезной системы обработки почвы, благодаря накоплению снега стерней и лучшему увлажнению почвы.

В результате изучения водного режима и физических свойств почв на всех стационарах показано некоторое увеличение плотности пахотного слоя и снижение водопроницаемости почвы при минимизации обработки [6–8, 13]. По режиму влаги во влажные годы преимущество имеют варианты вспашки и глубокого рыхления, а в сухие – минимальные обработки.

За 13 лет в опыте на черноземе выщелоченном (ОПХ “Элитное”) средние запасы влаги в метровом слое по вспашке и глубокому рыхлению были одинаковыми, на вариантах плоскорезной обработки и без основной обработки они были ниже соответственно на 3.5 и 6.5% [7]. Это согласуется с данными некоторого повышения плотности почвы и снижения водопроницаемости при минимизации обработки почвы. В этом опыте, как и других, отмечено существенное снижение накопление минерального азота при минимизации обработки почвы. В частности, средние за 1996–2002 гг. запасы нитратного азота в слое почвы 0–100 см во время всходов озимой ржи по черному пару составили: по вспашке – 151 кг/га, безотвальной глубокой обработке 142 кг/га, минимальной – 113 кг/га, нулевой – 105 кг/га [8]. Причину данного явления связывают с потреблением азота сорняками в связи с более высокой засоренностью минимальных фонов, что в определенной мере имеет место. Однако главная причина связана с изменениями биологической активности почвы.

Исследованиями на этом же черноземе [14] установлено снижение численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов,

Таблица 2. Урожайность зерновых культур в зернопаровых севооборотах в зависимости от систем обработки почвы в зональном аспекте (т/га)

Системы обработки почвы	Чернозем выщелоченный на равнине, средняя по севооборотам, 1986–1993 гг.			Чернозем выщелоченный на склоне 2°–4°, вторая пшеница, 1988–1995 гг.		Чернозем обыкновенный, средняя по севообороту, 1986–1990 гг.			Чернозем южный, вторая пшеница, 1983–1988 гг.		Серая лесная почва, пшеница, 1987–1990 гг.	
	К	У	У+3	К	У	К	У	У+3	К	У	К	У
Вспашка на 20–22 (25–27) см	2.17	2.70	3.29	1.60	2.06	1.84	2.12	2.38	1.35	1.53	2.62	3.04
Чередование вспашки на 25–27 см и плоскорезной обработки на 10–12 см	2.16	2.68	3.28	–	–	1.94	2.28	2.45	1.47	1.67	–	–
Чередование вспашки на 25–27 см с безотвальным рыхлением на 20–22 см и плоскорезной обработкой на 10–12 см	2.15	2.63	3.24	15.4	21.7	1.88	2.17	2.45	–	–	–	–
Безотвальное рыхление на 25–27 см (20–22 см)	2.11	2.63	3.28	15.2	22.6	1.97	2.28	2.56	1.42	1.71	2.57	3.08
Чередование безотвального рыхления на 25–27 см с плоскорезной обработкой на 10–12 см	2.09	2.59	3.20	–	–	1.89	2.19	2.50	1.45	1.64	–	–
Плоскорезная обработка на 10–12 см	2.03	2.50	3.14	1.38	1.90	1.88	2.18	2.45	1.27	1.45	2.39	2.98
Без основной обработки	1.92	2.43	3.04	–	–	1.80	2.06	2.34	–	–	–	–

Примечание. К – контроль без удобрений, У – на фоне азотно-фосфорных удобрений; У+3 – на фоне удобрения и полной защиты растений от вредных организмов.

ферментативной активности и интенсивности процессов минерализации органического вещества в зависимости от степени минимизации обработки почвы. Показано существенное снижение интенсивности выделения CO₂ с поверхности почвы при минимальной (плоскорезной) обработке по сравнению с вариантом вспашки (в среднем за вегетационный период на 300 кг/га), а также значительное уменьшение интенсивности разложения клетчатки. Следствием снижения биологической активности почвы при минимизации обработки является сдерживание процессов минерализации азота. Это явление может рассматриваться двояко. На почвах с низкой биологической активностью и обеспеченностью растений минеральным азотом, минимизация обработки усиливает его дефицит и требуется соответствующая его компенсация внесением минеральных удобрений. Там же, где происходит упомянутое выше избыточное накопление нитратов, минимизация обработки почвы играет важную роль в снижении темпов минерализации азота и предотвращении его потерь.

Определение нитратов в слое 0–250 см в опытах различных НИИ [18] показало снижение их содержания при плоскорезной обработке по сравнению с отвальной в зерно-паровых севооборотах в 1.7–2.0 раза при уровне содержания в южных черноземах соответственно 133 и 266 кг/га, в обыкновенных 93 и 158, в выщелоченных 36 и 62 кг/га.

Чрезвычайно важной характеристикой систем обработки почвы с оставлением на поверхности почвы пожнивных остатков является способность противостоять эрозии. Определяющее их значение в защите почвы от ветровой эрозии разносторонне доказано исследованиями ВНИИ зернового хозяйства [3], а затем и многими другими. Меньше внимания уделяется изучению их роли в защите от водной эрозии в связи с перекосом в сторону изучения гидротехнических мероприятий. В одном из рассматриваемых опытов на выщелоченном черноземе на склоне 2°–4° показано [13], что мульчирующие обработки почвы сокращают смыв почвы по сравнению с системой вспашки в 3–4 раза. В частности, величина смыва в среднем за 1985–1989 гг. по вспашке, глубокому

рыхлению и мелкой плоскорезной обработке составила по пару соответственно 27.5 и 11 м³/га, по непаровым предшественникам 12.3 и 4 м³/га.

В результате этих исследований были разработаны региональные рекомендации по системам обработки почвы для различных экологических условий в составе АЛСЗ [1]. На практике получили распространение мульчирующие обработки, в том числе минимальные и их комбинации. К сожалению, эти почвозащитные системы в период затянувшегося аграрного реформирования нередко стали подменяться тяжелыми дисковыми орудиями, расплывающими и уплотняющими почвы и провоцирующими ветровую и водную эрозию.

В процессе развития АЛСЗ в последнее десятилетие начался новый этап эволюции обработки почвы в сторону дальнейшей минимизации. Он отражает глобальную тенденцию сокращения обработки почвы вплоть до прямого посева. Эта тенденция закономерна, поскольку означает курс на экологизацию земледелия, приближение его к природным условиям. Отказ от механической обработки почвы и создание мульчи из растительных остатков и измельченной соломы подобно лесной подстилке или степному войлоку защищает почву от деградации и чрезмерного испарения влаги.

Имеется значительный опыт применения нулевой обработки почвы в мире, а в последние годы он появился и в России [6, 10]. Расширяются соответствующие исследования в научных учреждениях. Результаты их достаточно противоречивы, поскольку нулевая обработка имеет как достоинства, так и недостатки, которые по-разному проявляются в зависимости от агроэкологических условий. К основным достоинствам следует отнести: предотвращение ветровой, частично водной эрозии, задержание снега стерней, уменьшение физического испарения влаги из почвы, уменьшение перегрева поверхности почвы, снижение потерь органического вещества и выделения СО₂, сокращение затрат средств, труда и времени на обработку почвы. Существенные недостатки: повышение засоренности посевов сорняками, усиление дефицита минерального азота, накопление фитопатогенов, соответственно повышенный расход пестицидов, невозможность внесения фосфорных и калийных удобрений и мелиорантов на оптимальную глубину. Очевидно, чтобы реализовать преимущества прямого посева, необходимо устранить его недостатки. Важно особо подчеркнуть, что эффективность прямого посева сильно зависит от технологий его выполнения, в особенности от конструкции рабочих органов посевных комплексов (дисковых, долотообразных, комбинированных), приуроченных к различным условиям уплотнения почв. Одновременно отметим, что во многих полевых

экспериментах в так называемых “вариантах без основной обработки почвы”, в том числе в рассмотренных выше опытах, посев производился различными приспособлениями из-за отсутствия в научных учреждениях дорогостоящих посевных комплексов для прямого посева. Очевидно, если бы они применялись, то эти варианты опытов получили бы более высокую оценку эффективности. Дело в том, что ключевым звеном в технологии прямого посева является создание достаточно эффективной мульчи. Преимущество прямого посева в урожайности может проявиться в основном благодаря мульче за счет сокращения потерь влаги на испарение в период от посева до кущения, когда поверхность почвы не затенена растениями. Этому должно предшествовать более глубокое проникновение влаги зимних осадков, что возможно на структурных почвах. На менее структурных глубина промачивания уменьшается. Соответственно при нулевой обработке вследствие большего уплотнения почвы, чем после глубокой обработки, запасы влаги становятся меньше, особенно в условиях повышенного поверхностного стока. Влага концентрируется в меньшем слое и быстрее испаряется. В таких случаях при отсутствии достаточной мульчи нулевая обработка всегда проигрывает глубокой. Очевидно, на почвах с повышенной способностью к уплотнению, а также на склонах определенное место займет периодическое глубокое рыхление орудиями типа стоек СиБИМЭ с максимальным сохранением на поверхности мульчи. Для внесения оптимальных доз удобрений с учетом последующих культур, идущих по прямому посеву, потребуется безотвальная обработка рыхлителями-удобрителями или даже периодическая вспашка. Очевидно, оптимальные решения будут связаны с различными комбинациями.

Подобные рекомендации предусмотрены при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия [11], в которых степень минимизации обработки почвы и возможность прямого посева определяется почвенными условиями на основе почвенно-ландшафтного картографирования. При этом выбор объектов под прямой посев ограничивается заведомо благополучными структурными почвами с исключением довольно большого спектра почв с различными отклонениями от оптимальных по гранулометрическому и минералогическому составу, солонцеватости, гидроморфизму и т. п., поскольку диапазон их пригодности не изучен.

Проблема прямого посева является наиболее сложной в земледелии, а вследствие слабой изученности она изрядно мифологизирована. По одним представлениям регулярный прямой посев (no-till) по прохождении некоего переходного периода приводит к улучшению водно-физических свойств почв, снижению засоренности посевов и

стабилизации этих условий, по другим – наоборот – к ухудшению этих показателей со временем вплоть до угроз “серьезных экологических последствий, которые трудно будет устранить” [24]. На самом же деле определение доли участия прямого посева в комбинациях систем обработки почвы вплоть до системы нулевой обработки (no-till) требует изучения в зонально-провинциальном аспекте.

В целом, дальнейшее развитие проблемы минимизации связано с выявлением диапазона плотности и структуры почвы, позволяющего ту или иную степень минимизации обработки и прямой посев. Весьма актуальны задачи оценки сельскохозяйственных культур по отношению к плотности почвы, влияния прямого посева на биогенность почв с учетом пестицидной нагрузки. Ждет своих исследователей гипотеза о биологическом саморыхлении почв при сокращении механической обработки и различной агрохимической нагрузки.

УДОБРЕНИЯ КАК СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В современном земледелии ведущим фактором интенсификации являются минеральные удобрения. Одновременно они служат важным условием его экологизации, в частности освоения почвозащитных систем обработки почвы, их минимизации, сокращения чистого пара. Формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия осуществляется с учетом взаимодействия удобрений со всеми элементами земледелия. Минеральные удобрения в большой мере определяют выбор севооборотов, сортов, систем обработки почвы, защиты растений и, таким образом, выступают в качестве важнейшего системообразующего фактора земледелия. По достижении уровня обеспеченности пашни удобрениями, необходимого для оптимизации системы земледелия по экологическим и экономическим условиям, дальнейшее увеличение их применения должно осуществляться в интенсивных и точных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в расчете на планируемую урожайность и заданное качество продукции. При этом значительно возрастает роль защиты растений от сорняков, болезней, вредителей, полегания и точность операций по применению пестицидов. В перспективе все интенсивные агротехнологии должны стать точными с использованием прецизионных рабочих органов машин и дистанционных методов управления посевами в АгроГИС. Дальнейшие перспективы совершенствования агротехнологий связаны с расширением применения биологических методов защиты растений.

Применение интенсивных агротехнологий целесообразно в наиболее благоприятных условиях ландшафтов и почв при оптимальной их окультуренности. Переход от нормальных технологий к интенсивным и точным осуществляется на основе проектов адаптивно-ландшафтного земледелия при достаточно высоком уровне подготовки технологов. Поступательное освоение этих агротехнологий в зависимости от различных агроэкологических условий составляет суть остро назревшей технологической модернизации земледелия. По нашим расчетам (табл. 3) на различных этапах такой программы производство зерна в стране может быть удвоено и даже утроено. К сожалению, этот процесс сдерживается из-за противоречий аграрной политики. Немаловажную роль играет консервативное общественное мнение, связанное в частности, с экологическими издержками былых кампаний “химизации”. Средства массовой информации нередко культивируют агрохимический нигилизм, призывая к альтернативным системам с упрощенными представлениями об их сути. Под вывесками органического земледелия появились кампании, не только продвигающие суррогаты альтернативного земледелия любой ценой, по результатам не отличающиеся от экстенсивных систем, но и извращающие значение современных наукоемких агротехнологий. Мифы органического земледелия подхватываются некоторыми чиновниками, пытающимися направить по этому пути, сельское хозяйство страны. На самом деле органическое земледелие – ни что иное, как форма общественного протеста против интенсификации земледелия. По мере экологизации земледелия и устранения его экологических рисков теряется смысл органического земледелия, отрицающего достижения научно-технического прогресса (минеральные удобрения, ретарданты, пестициды, ростовые вещества, ГМО и др.), но сознание обывателя отстает от понимания этой истины. Так или иначе органические технологии занимают определенную нишу, предусмотренную в адаптивно-ландшафтном земледелии. Реальные возможности органического земледелия определяются поступлением навоза и соответственно состояния животноводства. При существующей чрезмерной концентрации животноводства, структуры и качества его отходов эти возможности существенно ограничены. Для органического земледелия в наибольшей степени подходят мелкие и средние сельскохозяйственные предприятия, объединенные в кооперативы, товарищества, партнерства. Их деятельность должна быть сопряжена с животноводством и соответственно использованием навоза в кормовых севооборотах. Создание таких предприятий за счет разукрупнения латифундий позволило бы сократить экологический ущерб, наносимый животноводческими мегакомплексами. В подавляющем большинстве стран производство

Таблица 3. Потенциальные возможности производства зерна в России при различных агротехнологиях и потребность в минеральных удобрениях

Уровень интенсификации агротехнологий	Внесение удобрений на 1 га в кг д. в.	Окупаемость удобрений, кг зерна 1 кг д. в.	Урожайность, т/га	Валовой сбор зерна, млн т	Потребность удобрений, млн т
На площадь посева зерновых 45 млн га					
Экстенсивные	0	—	1.7	76.5	0
Нормальные	100	8	2.5	112.5	4.5
Интенсивные и нормальные	150	10	3.2	144.0	6.75
Интенсивные, высокие и нормальные	200	12	4.1	184.5	9.0
На площадь посева зерновых 70 млн га					
Экстенсивные	0	—	1.5	105	0
Нормальные	100	7	2.2	168.0	7.0
Интенсивные и нормальные	150	9	2.85	199.5	10.5
Интенсивные, высокие и нормальные	200	12	3.9	273.0	14.0

животноводческой продукции осуществляется на предприятиях с размерами скотоводческих ферм 50–120 голов КРС. Тем самым достигается оптимально равномерное распределение животных по территории, интеграция животноводства и земледелия, эффективное использование навоза.

Помимо ключевой роли в развитии сельскохозяйственного производства удобрения выступают как фактор экологической оптимизации природопользования, как средство регулирования биологического круговорота в сельскохозяйственных ландшафтах. При его систематическом нарушении в условиях экстенсивного земледелия, преобладающего в стране, происходит истощение почв из-за отчуждения элементов питания растений, соответственно снижение продуктивности агроценозов, ухудшение структурного состояния и свойств почв вследствие уменьшения содержания лабильного органического вещества (так называемой “выпаханности”) и далее развитие эрозии и других процессов деградации, которые усиливаются под влиянием интенсивной обработки почвы, тяжелых машин. С этих позиций проблема использования органических удобрений и применения минеральных удобрений приобретает государственное природоохранное значение.

Ландшафтный подход к применению удобрений получил определенное развитие в адаптивно-ландшафтных системах земледелия, но недостаточное. Наиболее узким местом является агрохимическая адаптация агроценозов к различным условиям геохимического стока и аккумуляции биогенных элементов. Геохимический аспект проблемы усиливается требованиями производства продукции, сбалансированной не только по традиционным технологическим показателям (содержанию белка, крахмала и т. п.), но и по микроэлементному составу с учетом дефицита

или избытка минеральных элементов в различных геохимических провинциях. Для этого необходимо развитие биохимического районирования и агрохимического мониторинга.

В целом проблема управления плодородием почв в интенсивном сельскохозяйственном природопользовании может эффективно решаться лишь на основе методологии адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования АЛСЗ с использованием ГИС агроэкологической оценки земель. Для развития этих работ необходима интеграция почвоведения с соответствующими агрономическими дисциплинами и создание государственной земельной службы с функциями почвенно-ландшафтного картографирования, проектирования АЛСЗ, землеустройства и агроэкологического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2005. 761 с.
2. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области / Под ред. В.И. Кирюшина и А.Н. Власенко. Новосибирск: СибНИИЗХим СО РАСХН, 2002. 363 с.
3. *Бараев А.И. и др.* Почвозащитное земледелие. М.: Колос, 1975. 304 с.
4. *Бараев А.И., Кирюшин В.И.* Резервы целинного земледелия // Земледелие. 1978. № 9. С. 2–5.
5. *Вернадский В.И.* Биосфера // Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 5.
6. *Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А.* Перспективы технологии No-till в Сибири // Земледелие. 2014. № 1. С. 16–19.
7. *Власенко А.Н., Синещков В.Е., Першилин К.Г., Красноперов А.Г., Южаков А.И., Васильева Н.В., Чичкань Т.Н.* Совершенствование систем яблечевой

- обработки черноземов в лесостепи Приобья // Доклады РАСХН. 2004. № 3. С. 45–47.
8. *Власенко А.Н., Слесарев В.Н., Синельников В.Е., Красноперов А.Г., Буянкин Н.И.* Критерии минимизации обработки черноземов // Вестник РАСХН. 2004. № 1. С. 40–42.
 9. *Власенко А.Н., Филимонов Ю.П., Каличкин В.К., Иодко Л.Н., Усолкин В.Т.* Экологизация обработки почвы в Западной Сибири. РАСХН, Сиб. отделение, СибНИИЗХим. Новосибирск, 2003. 286 с.
 10. *Дридигер В.К.* Методические подходы к изучению систем земледелия без обработки почвы // Земледелие. 2014. № 7. С. 24–27.
 11. *Кирюшин В.И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 443 с.
 12. *Кирюшин В.И.* Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. СПб.: ООО “Квадро”, 2018. 568 с.
 13. *Кирюшин В.И., Власенко А.Н., Иодко Л.Н.* Влияние различных способов основной обработки почвы на плодородие выщелоченных черноземов Приобья // Почвоведение. 1991. № 3. С. 97–105.
 14. *Кирюшин В.И., Данилова А.А.* Биологическая активность выщелоченного чернозема Приобья в связи с интенсификацией возделывания зерновых культур // Агрохимия. 1990. № 9. С. 79–85.
 15. *Кирюшин В.И., Каличкин В.К., Иодко Л.Н.* Совершенствование систем основной обработки серых лесных и дерново-подзолистых почв в условиях интенсификации земледелия Западной Сибири. Новосибирск, 1990. С. 52–60.
 16. *Кирюшин В.И., Лебедева И.Н.* Изменение содержания гумуса черноземов Сибири и Казахстана под влиянием сельскохозяйственного использования // Доклады ВАСХНИЛ. 1984. № 5. С. 4–7.
 17. *Кирюшин В.И., Лебедева И.Н.* Опыт изучения изменения органического вещества черноземов Северного Казахстана при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1972. № 8. С. 128–133.
 18. *Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И.* О нисходящей миграции нитратов в черноземах Сибири при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1986. № 2. С. 34–44.
 19. *Кирюшин В.И., Южаков А.И., Романова Н.Л., Власенко А.Н.* Моделирование зональных систем земледелия на основе полевых экспериментов // Вестник с.х. науки. 1990. № 8. С. 99–105.
 20. Конференция ООН по окружающей среде и развитию. Доклад. Нью-Йорк, 1993. Т. 1–3.
 21. Материалы научной сессии Россельхозакадемии “Научное наследие В.В. Докучаева и современное земледелие” (К 100-летию Особой экспедиции В.В. Докучаева). Постановление. М.: РАСХН, 1992.
 22. Модель адаптивно-ландшафтного земледелия Владимирского ополья / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: Агроконсалт, 2004.
 23. *Овсянников В.И., Овсянникова С.М., Ларин Г.Н.* Взаимодействие между продуктивностью севооборотов и азотными удобрениями // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1982. № 2. С. 1–8.
 24. *Пыхтин И.Г.* Обработка почвы, действительность и мифы // Земледелие. 2017. № 1. С. 33–36.
 25. *Фрумин И.Л., Кирюшин В.И.* Математическое моделирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия (на примере Зауралья) // Известия ТСХА. 2004. Вып. 2. С. 27–36.

The Management of Soil Fertility and Agrocenosis Productivity in Landscape Adaptive Agricultural Systems

V. I. Kiryushin*

Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Pyzhevskiy per., 7, build 2, 119017 Russia

**e-mail: vkiryushin@rambler.ru*

The natural and artificial fertility of the soil and the productivity of agrocenoses are considered as the ecological and socio-economic functions of soils and agrolandscapes from the agricultural land-use optimization point of view. They are regulated by all means of adaptive-landscape farming systems (ALFS) according to the principle of eliminating limiting conditions or adapting to them. ALFS are formed on the basis of mathematical models describing the interaction of agriculture elements and environmental factors, discovered by multifactorial field experiments. As a result of long-term stationary studies organized by the author in various subzones of Western Siberia, the possibilities to decrease the naked fallows number, passing to crop rotations excluding the use of fallows in the forest-steppe zone, mulch tillage acquisition and their minimizing with the use of mineral fertilizers and other agrochemical agents have been substantiated. The decrease of humus losses and nitrogen mineralization, the decrease of CO₂ emissions intensity from the soil surface while minimizing the chernozem treatment is observed. The possibilities and conditions of direct seeding are considered. The role of mineral fertilizers as a framework factor for adaptive-landscape farming and their role as the most important condition for environmental optimization of nature management is substantiated.

Keywords: ecological functions, agrobiogeocenoses, humus, nitrogen, agrotechnologies, crop rotation optimization, minimization of tillage, naked fallow, fertilizer, farming systems modeling