

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИТОСАНИТАРНЫЕ ФУНКЦИИ ЗЕЛЕННОГО УДОБРЕНИЯ

В.Г. ЛОШАКОВ

(ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова)

В работе отмечается значение научно–технического прогресса в развитии мирового и российского земледелия и одновременно показана теневая сторона техногенных технологий, которые стали одной из причин экологических проблем. Решение этой комплексной проблемы возможно лишь путем биологизации земледелия и при системном подходе в рамках современных систем земледелия, основой которых являются научно обоснованные севообороты. Как многофункциональная система научно обоснованный севооборот создает благоприятные предпосылки для биологизации и экологизации земледелия. Они реализуются путем оптимизации структуры посевных площадей за счет расширения площади посевов многолетних трав, бобовых, промежуточных, сидеральных культур, использования навоза, торфа, зеленого удобрения, соломы, растительных остатков, других органических удобрений. Особенно перспективным в районах достаточного увлажнения (Нечерноземная зона и др.) является применение зеленого удобрения в виде промежуточных посевов (пожнивных, поукосных, подсевных и озимых промежуточных культур).

Дается многосторонняя агротехническая, фитосанитарная и экологическая оценка зеленого удобрения как постоянно возобновляемого источника энергии в адаптивно–ландшафтном земледелии, обеспечивающего экологическую устойчивость современных агроэкосистем и производство экологически чистой продукции. Особое внимание уделяется применению пожнивного зеленого удобрения в сочетании с удобрением соломой на фоне полного минерального удобрения. Такая смешанная органоминеральная система удобрения является наиболее эффективной как с позиций рационального использования органических и минеральных удобрений, так и с позиций достижения максимального экологического эффекта в современном земледелии.

Освещаются вопросы эффективности зеленого удобрения в решении задач зерновой специализации земледелия в Центральном Нечерноземье. Доказано, что органо–минеральная система удобрения «минеральные удобрения+пожнивный сидерат+солома», применяемая на 50% посевной площади в зерновом специализированном севообороте (83 % зерновых), позволяет снять отрицательные агротехнические и экологические последствия зерновой специализации земледелия и добиться продуктивности агроценозов и качества зерна на уровне показателей плодосменного севооборота с двумя полями многолетних трав (клевер+тимофеевка).

Ключевые слова: экология, зеленое удобрение, сидерация, плодородие почвы, гумус, агроэкосистема, эрозия почвы, пожнивные культуры, экологическое сельское хозяйство.

Введение

Объявление 2017 года годом экологии является одним из серьезных поводов для обсуждения актуальных экологических проблем в современном земледелии – основополагающей отрасли аграрно-промышленного комплекса нашей страны.

Несмотря на две мировые войны, частые засухи, наводнения, другие социальные и природные катаклизмы, научно–технический прогресс и достижения научной агрономии за последнее столетие изменили земледелие нашей планеты до неузнаваемости.

Начало этим изменениям было положено еще на заре развития научного земледелия – при замене в странах Западной Европы средневекового трехполья плодосменной системой земледелия, что позволило Англии, Дании, Германии, Франции и другим западноевропейским странам в течение одного столетия (1780–1880 гг.) увеличить урожайность озимой пшеницы с 7 ц/га до 15 ц/га [14].

В последующий – уже полувековой период (1880–1930 гг.) – производство и применение минеральных удобрений на фоне плодосменной системы земледелия позволило повысить урожайность пшеницы в западноевропейских странах до 30 ц/га, то есть вдвое. А суммарное увеличение производительности земледелия за полтора столетия стало четырехкратным.

Очередной вехой на пути развития мирового земледелия стала «зеленая революция», которая, начиная с 50-х годов прошлого столетия, последовательно охватила все континенты мира. Она выразилась в том, что достижения биологических наук позволили совершить прорыв в селекции сельскохозяйственных культур и повысить биологический потенциал и продуктивность новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур в несколько раз [3].

Параллельно с этим развитие химической и других смежных наук в дополнение к минеральным удобрениям поставило на службу земледелия еще один важный фактор его интенсификации – химические средства защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, регуляторы роста растений [4].

Все это в сочетании с другими достижениями научно–технического прогресса позволило многим странам мира перейти в земледелии на интенсивные технологии и увеличить за послевоенные 70 лет производство зерна и другой растениеводческой продукции в 2–3 раза [4].

Поэтому, несмотря на то, что за это же время население планеты увеличилось с 2 млрд. до 7 млрд. человек, а площадь сельскохозяйственных угодий в расчете на 1 человека сократилась вдвое, глобального голода население нашей планеты не испытывает, хотя, по данным ФАО, в мире ежегодно насчитывается около 300 млн. человек голодающих [6].

Постоянно маячащая угроза глобального голода, возрастающий спрос на продовольственные товары все время подстегивают в мире спрос на главный фактор современного земледелия – минеральные удобрения. Обеспечивая потребности интенсивно развивающегося земледелия планеты, мировой рынок минеральных удобрений за последние 50 лет увеличился в 5 раз, достигнув в настоящее время ежегодного уровня их потребления 185–190 млн. тонн в пересчете на содержание питательных веществ [6].

Как и во всем мире, в нашей стране накануне реформирования АПК в конце 80-х гг. земледелие носило техногенный характер. Во второй половине XX века при широкой химизации земледелия воспроизводство плодородия почвы в Российской Федерации осуществлялось, главным образом, за счет минеральных удобрений, применение которых за период с 1965 по 1990 гг. увеличилось с 20 кг до 88 кг питательных веществ на 1 га посевной площади [7].

К этому же времени большая часть посевной площади нашей страны обрабатывалась различными пестицидами [4, 13]. В этих условиях стало возможным применение интенсивных технологий возделывания основных видов сельскохозяйственных культур, которые сыграли положительную роль в развитии земледелия Советского Союза [4, 7].

Однако за достижения научно–технического прогресса в земледелии приходится платить большими экологическими потерями. С развитием земледелия на техногенной

основе в АПК развивались и негативные процессы – загрязнение почвы, грунтовых вод и водоемов остаточными веществами минеральных удобрений, пестицидов, тяжелыми металлами, метаболитами, продуктами эрозионного разрушения почвы [6–8, 13].

Несмотря на резкое падение уровня химизации земледелия нашей страны в кризисные 90-е годы прошлого столетия, оно не стало от этого экологически более безопасным, и экологические проблемы стали серьезным препятствием на пути дальнейшего развития АПК [4, 6, 8].

В Московской, Ленинградской и в других промышленных зонах Центра России, в бассейнах крупных рек европейской части нашей страны антропогенная нагрузка уже давно превысила установленные нормативы. Практически все поверхностные источники водоснабжения в этом регионе подвергаются загрязнению. Экологическое состояние бассейнов крупнейших рек – Волги, Оки, Москвы–реки и их притоков оценивается как «загрязненное» или «сильно загрязненное» [5, 7, 8].

В нашей стране 125 млн. сельскохозяйственных угодий, или 60% их общей площади, находятся в районах проявления водной и ветровой эрозии. Из них 58 млн га подвержено эрозии, в результате чего утрачена значительная часть самого плодородного – гумусового слоя почвы, и урожайность полей на таких почвах снижается на 30–70% [6, 7].

Водная и ветровая эрозия не только уничтожает самую плодородную часть почвы и приводит к большим потерям урожая. Она является прямым источником загрязнения окружающей среды, причиной нарушения экологического равновесия в агроландшафтах.

Такая ситуация в АПК нашей страны связана прежде всего с экологической неграмотностью тех, кто работает на земле, с низкой культурой земледелия, когда нарушаются севообороты и технология обработки почвы, игнорируются мероприятия по защите почвы от эрозии, не соблюдаются правила хранения и использования минеральных удобрений, пестицидов и других средств химизации в земледелии.

Методика проведения исследований

Исследования по изучению эффективности использования промежуточных культур и зеленого удобрения в севооборотах центральных областей Нечерноземной зоны проводились на кафедре земледелия и методики опытного дела РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева в 1957–1992 гг. под руководством профессора С.А. Воробьева и в 1961–2009 гг. под руководством профессора В.Г. Лошакова в серии полевых стационарных опытов*.

Полевые опыты были заложены в соответствии с требованиями методики опытного дела на Александровской госселекстанции во Владимирской области, в учхозах ТСХА «Отрадное» в Москве, в «Щапово» и «Михайловское» в Подольском районе Московской области, а также в колхозах и совхозах Московской, Брянской, Смоленской, Тульской и Рязанской областей. Почвы опытных участков – дерново-подзолистые, серые и темно-серые лесные средней степени окультуренности, глинистые, среднесуглинистые и супесчаные на моренных глинах, суглинках и супесях,

* В проведении исследований участвовали: доцент А.П.Крупенина, научные сотрудники: И.Н.Алпатова, В.А.Верещак, Ю.Д.Иванов, С.Ф.Иванова, В.И.Мамотенко, Н.П.Майорова, Л.В.Пашкова, аспиранты: Р.Ю.Асхабов, С.И.Бачманов, М.Ш. Бегеулов, З.А.Гаджибрагимов, А.Д.Горбоконь, Г.С.Гусев, И.Ф.Егоров, Н.К.Кружков, В.А.Николаев, А.И.Пашков, А.М.Платонов, Т.А.Рогова, Ю.Н.Синих, С.С.Солдатова, М.М.Султанов, Р.И.Тахиров, А.Ф.Чалдаева, Н.Д.Черенков, студенты агрономического факультета ТСХА.

со средне- и слабокислой реакцией почвенного раствора, со средней степенью обеспеченности гумусом (1,5–1,8%) и таким же средним обеспечением основными питательными веществами пахотного слоя почвы (0–20 см).

Агротехника культур, возделываемых в полевых опытах, соответствовала технологическим картам, принятым в хозяйствах района проведения исследований. При этом использовались районированные сорта и гибриды, хорошо адаптированные к местным почвенно-климатическим условиям.

Агрохимические полевые и лабораторные анализы почвы, растений и других материалов выполнялись по действующим стандартным методикам, ГОСТам и ТУ. Подробно методика этих и других исследований изложена

в наших публикациях, приведенных в библиографическом списке.

При обобщении материалов по теме исследований были использованы результаты многолетних исследований, проведенных в рамках программ Координационного совета по севооборотам и в соответствии с методиками, утвержденными в научных учреждениях ВАСХНИЛ и МСХ СССР.

Результаты исследований и их обсуждение

Возможности широкого использования минеральных удобрений и других агрохимикатов породили у некоторых землевладельцев иллюзию о том, что на этом фоне, реализуя преимущества специализации земледелия и в угоду рыночным интересам, можно отказаться от севооборотов и, пренебрегая законами научного земледелия, пойти по пути упрощенного хозяйствования на земле.

Однако результаты широкомасштабных исследований по программам Координационного совета по севооборотам ВАСХНИЛ – РАСХН, проведенных в научных учреждениях нашей страны в 70–90 гг. прошлого и в начале нынешнего столетия, показали, что научно обоснованное чередование сельскохозяйственных культур на полях по-прежнему в 1,5–1,7 раза эффективнее их бессменного возделывания, и обеспечивает высокий коэффициент использования воды, питательных веществ почвы и удобрений, лучшее их накопление и сохранение в почве, способствует поддержанию благоприятных физических свойств почвы, защите ее от водной и ветровой эрозии, а растений – от вредителей, болезней и сорняков, что имеет большое экологическое значение [7].

Таким образом, севооборот не только обеспечивает получение высоких и устойчивых урожаев, эффективное использование удобрений и других средств интенсификации земледелия, но и позволяет решать важные экологические задачи, устраняя или смягчая негативные последствия применения минеральных удобрений и других агрохимикатов. Решение этих задач возможно лишь на основе системного подхода с помощью севооборота, который является многофункциональной основой современных систем земледелия и агротехнологий.

В условиях специализации и интенсификации земледелия севооборот является основой биологизации земледелия, которая создает благоприятные предпосылки для ведения экологически чистого земледелия. Они реализуются путем оптимизации структуры посевных площадей за счет расширения площади посевов многолетних трав, бобовых, промежуточных, сидеральных культур, использования навоза, торфа, зеленого удобрения, соломы, растительных остатков, других органических удобрений [8, 9, 10].

Другим перспективным направлением биологизации и экологизации земледелия нашей страны в современных условиях является *зеленое удобрение*. Вместе с другими органическими удобрениями оно используется в земледелии многих стран мира, и является составной частью *экологического сельского хозяйства*, которое еще называют *органическим или биоорганическим*.

Цель органического земледелия – производство экологически чистой продукции без применения минеральных удобрений, химических средств защиты растений и других агрохимикатов.

Однако чисто биоорганическое земледелие в большинстве стран занимает незначительный удельный вес, и оно не может обеспечить потребность всего населения нашей планеты в продуктах питания, произведенным по технологиям органического земледелия.

В то же время широкая практика мирового и отечественного земледелия, результаты многолетних исследований ученых нашей страны и за рубежом показали, что масштабная задача производства экологически чистой продукции земледелия, доступной для всех слоев 7-миллиардного населения планеты, успешно решается в современных системах земледелия при научно обоснованном использовании органо–минеральных систем удобрения [6, 7, 10].

В этих системах наряду с навозом, торфом, другими органическими удобрениями важную роль играют зеленое удобрение и солома в сочетании с минеральными удобрениями, обеспечивающими в соответствии с законом возврата компенсацию выноса питательных веществ из почвы.

Анализ агроклиматических ресурсов и структуры посевных площадей в основных земледельческих регионах нашей страны показывает, что зеленое удобрение может найти широкое применение во всех почвенно–климатических зонах России как в виде сидеральных паров, так и в виде промежуточных посевов [7, 9, 10]. Они могли бы занимать в нашей стране до 19 млн га ежегодно.

Особенно перспективно использование зеленого удобрения в Нечерноземной зоне и в других районах достаточного увлажнения, а также на орошаемых землях. Урожайность основных сидеральных культур – различных видов люпина, сераделлы, донника и других бобовых в занятых сидеральных парах Нечерноземной зоны достигает 400–500 ц/га зеленой массы, удобрительная ценность которой не уступает подстилочному навозу [10].

Основное предназначение сидерации – пополнение запасов органического вещества в почве [10, 14]. Зеленое удобрение является идеальной формой органического вещества, в составе которого находится полный набор питательных веществ, необходимых для роста и развития культурных растений. В зеленой массе таких сидератов содержится 200–250 кг/га азота, что при их запашке в почву равноценно внесению 6–7 ц/га дорогостоящей аммиачной селитры [10].

Особое экологическое значение имеет то обстоятельство, что азот и другие питательные элементы в составе зеленого удобрения находятся в биологически связанной форме – в виде органического вещества, которое не вымывается из почвы и не загрязняет окружающую среду. А динамика разложения зеленого удобрения в почве складывается таким образом, что наиболее интенсивно оно разлагается в весенне-летний период – в период наиболее активного роста большинства сельскохозяйственных культур, когда они потребляют наибольшее количество питательных веществ, поступающих в почвенный раствор в результате минерализации зеленого удобрения. Таким образом, зеленое удобрение поступает в нужное место и в нужное время, что определяет его высокую эффективность и большое экологическое значение.

Однако зеленое удобрение, получаемое в сидеральных парах, часто бывает экономически не выгодным, так как сидеральное поле в течение года не дает товарной продукции. Поэтому экономически выгоднее промежуточная форма сидерации в виде пожнивных и других промежуточных культур. Они позволяют наиболее полно использовать агроклиматические ресурсы (атмосферные осадки, тепло), трудовые ресурсы, технику, удобрения, оросительные системы и получать два–три урожая в год [7, 10].

Помимо получения дополнительной продукции особое значение имеет агроэ-

кологическая и фитосанитарная функция промежуточных культур при самом различном их использовании. Их зеленый покров удлиняет период положительного воздействия сельскохозяйственных культур на почву как в летне-осенний период (пожнивные, поукосные, подсевные культуры), так и в ранне-весенний период (озимые промежуточные культуры).

Промежуточные культуры предохраняют почву от перегрева в летний зной, от промерзания – зимой, от разрушительного действия ливневых дождей – весной, летом и осенью, талых вод – ранней весной. Плотный зеленый покров промежуточных культур подавляет рост и развитие сорняков, снижая засоренность полей, нарушает обычные биологические циклы развития вредителей и возбудителей болезней с.-х. культур.

Видовое разнообразие промежуточных культур создает благоприятные предпосылки для реализации принципов плодосмена и усиления фитосанитарных и экологических функций севооборота. Эти функции особенно усиливаются и играют большую роль при использовании пожнивных и других промежуточных культур в качестве зеленого удобрения.

Результаты наших многолетних исследований показали, что перспективными сидеральными культурами в Центральных областях Нечерноземной зоны являются пожнивные посевы горчицы белой (*Sinapis alba* L.), рапса (*Brassica napus* L., ssp. *oleifera* Metzger), редьки масличной (*Raphanus sativus* L., var. *oleifera* Metzger), сурепицы озимой (*Brassica campestris* L.), фацелии (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) [6, 7, 10].

Установлено, что наибольшей устойчивостью к неблагоприятным погодным условиям в пожнивный период здесь отличается горчица белая. Ее полные всходы появляются на 4–5 день после посева, растения обладают быстрым ростом, хорошей устойчивостью к раннеосенним заморозкам и за 45–50 августовско–сентябрьских дней при стартовой дозе азотных удобрений 45–50 кг/га д.в. дают 20–30 т/га зеленой массы и 6–10 т/га корней [6, 9, 10].

В отдельные годы общее количество сухой органической массы, синтезированной пожнивной белой горчицей, достигает 45 ц/га, и с ней в почву поступает до 18 ц/га углерода. В одном центнере абсолютно сухой органической массы пожнивной горчицы содержится 38,6 кг углерода, 3,1 кг азота, 1,1 кг окиси фосфора и 1,9 кг окиси калия. Зеленая масса пожнивной горчицы богата азотом, что обеспечивает узкое соотношение C:N /10–12:1/ и ее высокую удобрительную ценность.

Пожнивная сидерация совместно с удобрением измельченной соломой (5–6 т/га) на фоне минеральных удобрений хорошо вписывается в технологию возделывания зерновых культур и оказывает положительное влияние на плодородие дерново-подзолистой почвы [10, 11, 12].

При насыщении зернового севооборота пожнивным сидератом до 50% площади пашни поступление органического вещества в дерново-подзолистую суглинистую почву увеличивается на 46% [10]. И при использовании зеленого удобрения в течение двух шестилетних ротаций зернового севооборота количество гумуса в слое почвы 0–40 см увеличивалось на 0,48%, то есть практически на столько же, на сколько и в плодосменном севообороте с двумя полями многолетних трав – 0,49% [10].

При использовании пожнивной сидерации (белая горчица) биологическая активность дерново-подзолистых почв повышается в среднем в 1,5–2,0 раза, что положительно сказывается на целом ряде показателей плодородия почвы. Однако с позиций экологии важно, чтобы чрезмерная биологическая активность не приводила к полной минерализации органического вещества, вносимого в почву. Поэтому эффективно сочетание биологически активного зеленого удобрения с удобрением измельченной соломой, которая уравнивает процессы преобразования органического вещества в почве в пользу улучшения гумусового баланса.

Гумус является важным фактором образования структурных агрегатов в почве, и этим объясняется то, что повышение содержания гумуса в пахотном слое почвы 0–20 см дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы после пожнивной сидерации сопровождалась повышением количества водопрочных структурных агрегатов с 34,2 до 40,1%, а плотность той же почвы под посевами овса и ячменя снижалась с 1,30–1,31 до 1,20–1,22 г/куб. см., водопроницаемость повышалась на 19–65% [11, 12].

Такое улучшение агрофизических свойств почвы имеет большое агроэкологическое значение, так как с повышением водопроницаемости почвы поверхностный сток талых и ливневых вод переходит во внутренний сток, и тем самым снимается угроза развития водной эрозии почвы [7].

Запашка пожнивного сидерата в зерновом севообороте (83% зерновых) в чистом виде повышала коэффициент использования азота минеральных удобрений ячменем на 13%, овсом – на 36%, а при сочетании пожнивного сидерата с удобрением соломой – на 22 и 69% соответственно. При этом поживный сидерат увеличивал закрепление азота в почве с 6,8 до 17,5%, а при сочетании с удобрением соломой – до 23,9% [10].

Повышая коэффициент использования азота минеральных удобрений, поживное зеленое удобрение в сочетании с удобрением соломой снижало непродуцируемые потери азота на 35–43%. Тем самым оно выполняло важную экологическую функцию по защите окружающей среды от загрязнения остатками минеральных удобрений [10]. Стартовая доза минерального азотного удобрения (45–50 кг/га д.в. аммиачной селитры) оказывала положительное влияние не только на рост и развитие поживных посевов горчицы, но и снимала иммобилизирующее влияние удобрения соломой, которое обычно проявляется в почве при недостатке азота.

Использование азотных и других минеральных удобрений под посев белой горчицы и других быстро растущих поживных сидератов из семейства капустовых является экологически важным приемом перевода питательных веществ минеральных удобрений в состав органической массы зеленого удобрения, которые при ее минерализации эффективно потребляются растениями последующих культур с высоким коэффициентом использования и без загрязнения окружающей среды их остатками.

Поживное зеленое удобрение с узким соотношением углерода и азота повышает биологическую активность почвы и выполняет роль катализатора разложения растительных остатков – носителей патогенной микрофлоры в почве. Установлено, что после поживного сидерата на следующий год в пахотном слое почвы во время вегетации ячменя или овса разлагалось 55–65% растительных остатков, после внесения минеральных удобрений – 42–47%, без удобрений – 36% [10].

Это обстоятельство также имеет большое фитосанитарное и экологическое значение, так как зеленое удобрение увеличивает численность сапрофитной почвенной микрофлоры, которая является активным антагонистом почвенных грибов – возбудителей многих болезней культурных растений [6]. В результате этих процессов после поживной сидерации поражение картофеля паршой обыкновенной снижалось в 2,2–2,4 раза, ризоктониозом – в 1,7–5,3 раза, ячменя – корневыми гнилями – в 1,5–2 раза [10].

Использование поживной сидерации имеет положительное фитосанитарное значение и в отношении численности вредных насекомых, поражающих посевы полевых культур. Так, после запашки зеленой массы поживной горчицы под посевы овса в условиях Брянской области эта яровая культура имела ускоренный рост, и в фазу кушения ее растения уходили от поражения личинками шведской мухи. По этой причине уровень поражения растений овса шведской мухой снижался на 30% [10].

Дождевые черви являются важной составной частью почвенной биоты и своеобразным индикатором состояния здоровья и экологической чистоты почвы. Поглощая огромное количество мертвых растительных остатков, черви в своем пищева-

рительном тракте формируют копролиты (каловые массы), богатые органическим веществом – в копролитах червей естественных популяций содержится до 15% абсолютно сухого органического вещества, а в копролитах культивируемых червей – вдвое больше – от 25 до 35% в пересчете на сухое вещество [10].

Поэтому дождевым червям отводится важная роль в оптимизации баланса органического вещества в почве, ибо вес червей составляет от 50 до 72% всей биомассы почвы. Общее количество их в почве может составлять от 500 тыс. до 20 млн. особей на 1 га, а вес биомассы от 250 кг до 10 тыс. кг/га. Установлено, что длительное использование пожнивной сидерации как в зерновых севооборотах, так и при бессменных посевах ячменя на фоне минеральных удобрений способствует увеличению количества дождевых червей в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в 1,5–2 раза (табл. 1).

Таблица 1

Количество и биомасса дождевых червей в слое почвы 0–20 см под ячменем. Учхоз ТСХА Михайловское [10]

Севооборот и % зерновых	Удобрение	Весной до посева		После уборки	
		Кол-во шт/м ²	Биомасса г/м ²	Кол-во шт/м ²	Биомасса г/м ²
Плодосмен –50	NPK	36.6	16.5	27	17.1
Зерновой –83	NPK	22.7	12.1	21	14.7
Зерновой –83	NPK+п.сидерат	27.3	12.7	23	20.2
Зерновой –83	NPK+п.сидерат+ солома	23.3	12.3	35.3	25.7
Бессменные посевы ячменя с 1981г.	Без удобрений	12.7	7.7	13.3	7.9
	NPK	28.0	13.1	29.3	13.3
	NPK+п.сидерат	33.3	14.2	27.3	17.8
	NPK+п.сидерат+ солома	28.7	14.3	53.3	40.5

Особенно заметное увеличение количества дождевых червей к концу вегетации ячменя отмечалось при использовании пожнивной сидерации в сочетании с удобрением соломой, которая служит для червей дополнительным источником пищи. Экологическая и фитосанитарная функция пожнивной сидерации проявляется и в снижении после нее засоренности основных культур севооборота (табл. 2).

Таблица 2

Влияние пожнивной сидерации на засоренность посевов ячменя, шт/м². Учхоз ТСХА «Михайловское» [10]

Севооборот и % зерновых	Удобрения	Всего сорняков шт/м ²	В том числе многолетних
Плодосмен, 50	NPK	52,4	31,4
Зернотравя–ной, 67	NPK	36	15
Зерновой, 83	NPK	36	12
Зерновой, 83	NPK + сидерат	19	2
Зерновой, 83	NPK + сидерат + солома	23	8
Бессменно	Без удобрений	92	64
Бессменно	NPK	77	28
Бессменно	NPK + сидерат	51	3
Бессменно	NPK + сидерат + солома	55	4

Высокая сороочищающая эффективность пожнивной сидерации как в чистом виде, так и в сочетании с соломой в посевах ячменя проявлялась и при его бессменных посевах, когда пожнивная горчица запахивалась под ячмень ежегодно, тогда как в севообороте – лишь один раз в два года.

В ряде случаев такое сороочищающее действие сидерата позволяет снять вопрос о применении гербицидов и тем самым решить важную экологическую задачу – снизить пестицидную нагрузку на агрофитоценоз [7].

Пожнивная сидерация благоприятно сказывается на росте и развитии растений, урожайности и качестве урожая основных культур севооборота. Так, на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах Подмосковья внесение 20 т/га навоза повышало урожайность картофеля на 48%, равноценное ему количество минеральных удобрений – на 36%, тогда как заплата зеленой массы пожнивной горчицы (15–20 т/га) в чистом виде повышала сбор клубней картофеля на 49,8%, а в сочетании с удобрением соломой (5–6 т/га) – на 58,6%. При этом повышалась товарность клубней и содержание крахмала в них [10].

На супесчаных дерново-подзолистых почвах Брянской области после заправки от 12 до 20 т/га зеленой массы пожнивных посевов горчицы белой, редьки масличной или рапса озимого урожайность картофеля повышалась на 86%, после внесения равнозначного количества минеральных удобрений – на 46%, минеральных удобрений с навозом – на 84% [10].

Сочетание пожнивного сидерата с удобрением соломой на фоне минеральных удобрений повышало урожайность зерна ячменя и овса на 50,5 и 51,2% соответственно, зеленой массы викоовсяной смеси – на 34%. При этом общая продуктивность плодосменного севооборота повышалась на 17–20% [10].

В специализированном зерновом севообороте (83% зерновых) многолетнее – в течение 4–5 ротаций 6–польного севооборота применение пожнивного сидерата с удобрением соломой повышало основные показатели плодородия дерново-подзолистой почвы, улучшало фитосанитарную и экологическую ситуацию в севообороте, повышало урожайность зерновых культур и увеличивало выход зерна на 65–70% [7, 10, 11].

В зависимости от чередования культур, зеленого удобрения происходят изменения агрофитоценозов зерновых культур как по их общей продуктивности, так и по их структуре. Эти изменения однозначны в пользу пожнивной сидерации как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой. При этом на фоне минеральных удобрений продуктивность агрофитоценоза озимой пшеницы в зерновом севообороте под влиянием пожнивной сидерации на 51–52% больше, чем при бессменном посеве ячменя (табл. 3).

Установлено, что помимо повышения продуктивности пашни и улучшения экологической ситуации в зерновых севооборотах пожнивная сидерация обеспечивает получение зерна пшеницы и ячменя качеством не ниже, чем в плодосменных севооборотах [1, 10].

Таблица 3

Продуктивность агрофитоценозов зерновых культур при разных системах удобрений. Учхоз ТСХА «Михайловское», в среднем за 5 ротаций [15]

Культура	Удобрение	Компоненты фитомассы, т/га					Общая продуктивность	
		оп	пп	ро	пс	ср	т/га	%
Озимая пшеница (севооборот)	НРК	3,22	4,51	3,80	–	0,26	11,8	100
	НРК+ПС*	3,52	4,58	4,28	1,01	0,16	13,6	115
	НРК+ПС+С	3,78	5,67	4,30	0,90	0,19	14,8	126

Культура	Удобрение	Компоненты фитомассы, т/га					Общая продуктивность	
		оп	пп	ро	пс	ср	т/га	%
Ячмень (бессменно)	Без удобрений	1,28	2,05	1,92	–	0,75	6,0	100
	НРК	2,01	2,41	2,81	–	0,62	7,8	131
	НРК+ПС	2,05	2,46	2,87	1,21	0,44	9,0	151
	НРК+ПС+С	2,31	2,54	3,23	0,91	0,44	9,7	161

Примечание. Условные обозначения: ПС – пожнивный сидерат (горчица белая), С – удобрение соломой, ОП – основная продукция, ПП – побочная продукция, РО – растительные остатки, СР – сорные растения.

При этом пожнивное зеленое удобрение как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой обеспечивает тот уровень хлебопекарных показателей зерна озимой пшеницы, который она дает при посеве после многолетних трав 2 года пользования в плодосменном севообороте (табл. 4).

Аналогичные результаты были получены и при оценке качества зерна ячменя и овса. По выходу и качеству перловой крупы из зерна ячменя, выращенного в плодосменном и в зерновом севооборотах, а также при его бессменном посеве пожнивная сидерация имела такой же эффект, как и использование многолетних трав в плодосменном севообороте [1].

Таблица 4

Влияние пожнивной сидерации на хлебопекарные качества муки из зерна озимой пшеницы [1]

Севооборот и % зерновых	Удобрение	Объемная масса хлеба, см ³	h/d подового хлеба	Общая хлебопекарная оценка, балл
Плодосмен, 50	НРК	852	0,52	3,9
Зерновой, 83	НРК	781	0,49	3,7
Зерновой, 83	НРК+ПС*	813	0,56	3,9
Зерновой, 83	НРК+ПС+С**	851	0,56	3,9

Примечание. * – пожнивный сидерат (горчица белая), ** — пожнивный сидерат + солома.

Таким образом, зеленое удобрение является важным экологическим и фитосанитарным фактором современного адаптивно–ландшафтного земледелия, призванного с помощью органо-минеральных систем удобрения в плодосменных и специализированных севооборотах обеспечить не только воспроизводство плодородия почвы, высокие и устойчивые урожаи экологически чистой продукции, но и устойчивое экологическое равновесие в агрофитоценозах и окружающем агроландшафте.

Библиографический список

1. *Бегеулов М.Ш.* Влияние зеленого удобрения на урожайность и технологические свойства зерна озимой пшеницы и ячменя в зерновых севооборотах Центрального района Нечерноземной зоны / Автореф. дисс. канд. наук. М.: 1998. 20 с.

2. Ван Мансвелт Я.Д., Темирбекова С.К. Особенности адаптивного развития экологического сельского хозяйства Западной Европы и России / Сб. Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС. Т.1. Большие Вяземы, 2016. С. 250–263.

3. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI веке. Теория и практика. Т. 1 и 2. М.: Агрорус. 2009–2011. 816 и 624 с.

4. Захаренко В.А. Фитосанитарный мониторинг агроэкосистем и его научно-методическое обеспечение в России. // М.: Почв. ин–т им. В.В. Докучаева, 2010. С. 124–138.

5. Кочетов И.С. Агрolandшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. М.: Колос, 1999. 222 с.

6. Лошаков В.Г. Сидерация как фактор биологизации и природоподобных технологий в земледелии // Биогеосистемные технологии, 2015. Т. 4. № 6. С. 374–395.

7. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы / Под ред. В.Г. Сычева. М.: Изд. ВНИИА, 2012. 512 с.

8. Лошаков В.Г. Экологические проблемы современных агроландшафтов // Экология и культура: от прошлого к будущему. Ярославль – Борок: НИИ биологии внутренних вод им. Папанина РАН, 2013. С. 13–19.

9. Лошаков В.Г. Промежуточные культуры – фактор экологически чистого земледелия // Аграрная наука, 1994. № 6. С. 24–26.

10. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение в земледелии России / Под ред. В.Г. Сычева. М.: Изд. ВНИИА, 2015. 300 с.

11. Лошаков В.Г. Научные основы зерновой специализации севооборотов // Известия ТСХА, 2006. Вып. 4. С. 3–22.

12. Николаев В.А. Влияние пожнивного зеленого удобрения на агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых севооборотов. Автореф. дисс. канд. наук. М.: ТСХА, 1999. 20 с.

13. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений / Под ред. С.Я. Попова. М.: Арт-Лион, 2003. 208 с.

14. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения. М.: Сельхозгиз, 1965.

15. Солдатова С.С. Роль сидерации в формировании экологически устойчивых агробиоценозов в южно-таежной зоне. Автореф. дисс. Канд. наук. М.: ТСХА, 2011. 20 с.

ECOLOGICAL AND PHYTO-SANITARY FUNCTIONS OF GREEN MANURE

V.G. LOSHAKOV

(Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry)

The paper states the importance of scientific and technological progress in the development of world and Russian agriculture, while pointing out at the dark side of man-made technologies, which have become one of the causes of environmental problems. The solution to this complex problem is possible only through the biologization of agriculture and a systematic approach in the framework of modern farming systems based on scientifically approved crop rotations. Being a multifunctional system, the scientifically based crop rotation makes favorable conditions for the biologization and greening of agriculture. They are ensured through the optimization of cultivated acreage structure due to the expanded area of perennial grasses, legumes, intermediate crops, green manure crops, as well as the use of manure, peat, green manure, straw, plant residues and

other organic fertilizers. Especially promising in areas of sufficient moisture (Non-Chernozem zone, etc.) is the use of green fertilizer in the form of intermediate crops (alternate post-harvest, undersown and winter crops). The author provides complex agrotechnical, phytosanitary and ecological evaluation of green manure as a constantly renewable source of energy in adaptive-landscape agriculture, ensuring environmental sustainability of modern agroecosystems and the production of environmentally friendly products.

Particular attention is paid to the use of green fertilizer in combination with straw fertilizer on the background of complete mineral fertilizers. Such a mixed organic-mineral fertilizer system is the most effective both in terms of the rational use of organic and mineral fertilizers, and achieving the maximum environmental effect in modern agriculture.

The paper highlights some efficiency issues of applying green fertilizers in solving grain specialization problems in the Central Non-Chernozem region. The author proves that the organic-and-mineral fertilizer system “mineral fertilizers+crop siderate + straw”, used on 50% of the cultivated area in the grain specialized crop rotation (83% of grain), allows to remove the negative agrotechnical and environmental consequences of grain specialization in a farming system and achieve the productivity of agrocenoses and grain quality at the level of crop rotation farming indicators with two fields of perennial grasses (clover+timothy).

Key words: ecology, green fertilizer, green manuring, soil fertility, humus, agro-ecosystem, soil erosion, crop culture, environmental agriculture.

References

1. *Begeulov M. Sh.* Vliyaniye zelenogo udobreniya na urozhaynost' i tekhnologicheskiye svoystva zerna ozimoy pshenitsy i yachmenya v zernovykh sevooborotakh Tsentral'nogo rayona Nechernozemnoy zony [The effect of green fertilizer on the yield and technological properties of winter wheat grain and barley in grain crop rotations of the Central District of the Non-Chernozem Zone] / Self-review of PhD thesis. M.: 1998. 20 p. (In Rus.)
2. *Van Mansvelt Ya. D., Temirbekova S. K.* Osobennosti adaptivnogo razvitiya ekologicheskogo sel'skogo khozyaystva Zapadnoy Yevropy i Rossii [Features of the adaptive development of ecological agriculture in Western Europe and Russia] / In: *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya v bioorganicheskom sel'skom khozyaystve Rossii, SNG i YeS. Vol. 1. Bol'shiye Vyazemy, 2016. Pp. 250–263.* (In Rus.)
3. *Zhuchenko A. A.* Adaptivnaya strategiya ustoychivogo razvitiya sel'skogo khozyaystva Rossii v XXI veke. Teoriya i praktika [Adaptive strategy for the sustainable agricultural development in Russia in the 20th century. Theory and practice]. Vol. 1 and 2. M.: Agrorus. 2009–2011. 816 and 624 p. (In Rus.)
4. *Zakharenko V. A.* Fitosanitarnyy monitoring agroekosistem i yego nauchno-metodicheskoye obespecheniye v Rossii [Phytosanitary monitoring of agro-ecosystems and its scientific and methodological support in Russia]. // M.: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchayeva, 2010. Pp. 124–138. (In Rus.)
5. *Kochetov I. S.* Agrolandshaftnoye zemledeliye i eroziya pochv v Tsentral'nom Nechernozem'ye [Agrolandscape agriculture and soil erosion in the Central Non-Chernozem zone]. M.: Kolos, 1999. 222 p. (In Rus.)
6. *Loshakov V. G.* Sideratsiya kak faktor biologizatsii i prirodopodobnykh tekhnologiy v zemledelii [Sideration as a factor of biologization and nature-similar technologies in agriculture] // *Biogeosistemnyye tekhnologii, 2015. Vol. 4. No. 6. Pp. 374–395.* (In Rus.)
7. *Loshakov V. G.* Sevooborot i plodorodiye pochvy [Crop rotation and soil fertility] / Ed. by V. G. Sychev. M.: Izd. VNIIA, 2012. 512 p. (In Rus.)

8. *Loshakov V.G.* Ekologicheskiye problemy sovremennykh agrolandshaftov [Ecological problems of modern agricultural landscapes] // *Ekologiya i kul'tura: ot proshlogo k budushchemu. Yaroslavl' – Borok: NII biologii vnutrennikh vod im. Papanina RAN*, 2013. Pp. 13–19. (In Rus.)

9. *Loshakov V.G.* Ppomezhutochnyye kul'tury – faktor ekologicheskoi chistogo zemledeliya [Intermediate crops are a factor of organic farming] // *Agpapnaya nauka*, 1994. No. 6. Pp. 24–26. (In Rus.)

10. *Loshakov V.G.* Zelenoye udobreniye v zemledelii Rossii [Green fertilizers in Russian agriculture] / Ed. by V.G. Sychev. M.: Izd. VNIIA, 2015. 300 p. (In Rus.)

11. *Loshakov V.G.* Nauchnyye osnovy zernovoy spetsializatsii sevooborotov [Scientific basis of grain specialization of crop rotations] // *Izvestiya TSKHA*, 2006. Issue 4. Pp. 3–22. (In Rus.)

12. *Nikolayev V.A.* Vliyaniye pozhnivnogo zelenogo udobreniya na agrofizicheskiye svoystva dernovo–podzolistoy pochvy i produktivnost' zernovykh sevooborotov [The effect of green stubble fertilizer on the agrophysical properties of sod-podzolic soil and the productivity of grain crop rotations]. Self-review of PhD thesis. M.: TSKHA, 1999. 20 p. (In Rus.)

13. *Popov S.Ya., Dorozhkina L.A., Kalinin V.A.* Osnovy khimicheskoy zashchity rasteniy [Fundamentals of chemical plant protection] / Ed. by S.Ya. Popov. M.: Art–Lion, 2003. 208 p. (In Rus.)

14. *Pryanishnikov D.N.* Izbrannyye sochineniya [Selected works]. M.: Sel'khozgiz, 1965. (In Rus.)

15. *Soldatova S.S.* Rol' sideratsii v formirovanii ekologicheskoi ustoychivyykh agrobiotsenozov v yuzhno–tayezhnoy zone [The role of sideration in the formation of environmentally sustainable agrobiocenoses in the Southern taiga zone]. Self-review of PhD thesis. M.: TSKHA, 2011. 20 p. (In Rus.)

Лошаков Владимир Григорьевич – д. с-х. н., проф., гл. науч. сотр. ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (127550, Москва, ул. Прянишников, 31А; e-mail: LVG36@yandex.ru).

Vladimir G. Loshakov – DSc (Ag), Chief Research Associate, Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry (127550, Moscow, Pryanishnikova Str., 31A; e-mail: LVG36@yandex.ru).