

УДК 631.8.022.3:631.452:631.931

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ПЛОДОРОДИЕ ТОРФЯНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ

Н.Н. Семененко¹, Е.В. Каранкевич², Н.М. Авраменко³,

¹Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

²Институт мелиорации, г. Минск, Беларусь

³Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства, а/г Полесский, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В зоне Полесья агроторфяные почвы разных стадий эволюции занимают около 700 тыс. га. Одной из наиболее актуальных экологических и экономических проблем этой зоны, причиной сдерживающей его устойчивое развитие, является деградация таких почв [1]. После осушения и в процессе сельскохозяйственно-

го использования агроторфяные почвы подвержены дефляции и минерализации органических соединений, что приводит к потере органического вещества (ОВ) и трансформации их в торфяно-минеральные, снижению плодородия. В зависимости от условий величина общих потерь ОВ колеблется в пределах от 2 до 15 т/га и более за год. Наиболее высокие потери ОВ наблюдаются при возделывании на таких почвах пропашных культур, проведении вспашки и применении повышенных доз минеральных, особенно, азотных удобрений [2–7 и др.]. Поэтому для сохранения плодородия агроторфяных почв рекомендуется на них больше сеять многолетних трав, в основном злаковые, вносить органические удобрения в дозах 50–60 т/га, заменить вспашку на обработку почвы без оборота пласта [6–10 и др.]. В то же время зона Полесья отличается развитым животноводством, где значительные площади агроторфяных почв разных стадий эволюции интенсивно используются под кормовыми культурами, выполнить эти рекомендации сложно. С целью укрепления кормовой базы животноводства на этих почвах в структуре посевных площадей зерновые фактически занимают до 50 % и кукуруза, как ведущая кормовая культура – более 30 %. Основной способ осенней обработки почвы – зяблевая вспашка, органические удобрения применяются на полях, расположенных возле животноводческих комплексов. Так же установлено, что разработанная для агроторфяных почв «базовая» система применения удобрений [11–13], предусматривающая возмещение выноса фосфора и калия с планируемой урожайностью и дополнительное внесение для повышения их плодородия, внесение усредненных по полям доз азотных удобрений не учитывает особенностей торфяно-минеральных почв разных стадий эволюции и нуждается в совершенствовании. Для повышения производительной способности и устойчивости к деградации агроторфяных почв Полесья необходима разработка альтернативных почвозащитных, экономически и экологически обоснованных систем земледелия на них. Такие разработки должны включать научно обоснованные почвозащитные севообороты насыщенные промежуточными культурами, экологически безопасные энергосберегающие системы обработки почвы и комплексное применение макро- и микроудобрений, биологически активных веществ на основе новых методических решений. Однако подобные рекомендации для зоны Полесья неизвестны.

Цель исследований – установить наиболее эффективные сочетания способов основной обработки почвы, систем применения удобрений и сидератов, обеспечивающих высокую продуктивность культур кормового севооборота и их влияние на плодородие торфяно-минеральной почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что в технологиях возделывания основных сельскохозяйственных культур севооборота важнейшее значение имеет подбор предшественника, способ основной обработки почвы и система применения удобрений. В результате проведенных нами ранее исследований на торфяно-минеральных почвах установлено [14], что одним из лучших предшественников основных культур севооборота являются промежуточные с использованием зеленой массы на корм и заделкой в почву пожнивно-корневых остатков. Однако использование и такого предшественника под пропашные культуры на этих почвах не исключает проведение зяблевой вспашки, внесение органических удобрений, интенсивную дефляцию и минерализацию ОВ в течение длительного периода вегетации, что приводит к снижению ее

плодородия. Поэтому в последние годы в ряде стран (Англия, Германия, США и др.) в качестве предшественников – кукурузы, сахарной свеклы и сои используют кулисные посевы промежуточных культур.

Считаем [4, 15 и др.], что снизить потери ОВ агроторфяных почв, затраты на зяблевую вспашку и применение органических удобрений, химических средств защиты растений, повысить продуктивность культур севооборота и поступление ОВ в почву возможно за счет использования в качестве предшественника сидерата в виде кулисной культуры более зрелых растений семейства капустных, например, редьки масличной. В фитомассе таких растений больше накапливается лигнина, полифенолов с соотношением С:N 20–25 и более, из которых образуются гумусовые вещества. Такой предшественник укрывает поверхность почвы в течение 6–7 месяцев в осеннее-зимний период, что предотвращает дефляцию и развитие сорной растительности. При этом исключается такой энергоемкий прием агротехнологий как зяблевая вспашка, улучшается водный режим, снижаются потери ОВ и миграция элементов минерального питания.

Исследования проводились в кормовом севообороте со следующим чередованием культур: однолетние травы (пелюшко-овсяная смесь, поукосно – редька масличная) – кукуруза на зеленую массу – ячмень на зерно – озимый рапс на маслосемена и пожнивно – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм на двух фонах последствия редьки масличной и трех способов обработки почвы:

1) базовый вариант технологий – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная на зеленый корм. Пожнивно – корневые остатки заделываются под зяблевую вспашку на глубину 20–22 см под кукурузу, ячмень и озимый рапс;

2) ресурсосберегающий – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная на зеленый корм, пожнивно – корневые остатки заделываются дисковым на глубину 10–12 см под кукурузу, ячмень и озимый рапс;

3) почвозащитный – пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, поукосно – редька масличная как сидерат в качестве кулисной культуры, осенняя обработка почвы не проводится. Посевы растений редьки масличной, оставленные в зиму в качестве кулисной культуры, за зимний период отмирают. Весной при созревании почвы они заделываются в почву дисковым на глубину 10–12 см. При этом растительные остатки кулисной культуры продолжают сохранять почвозащитную функцию в виде мульчи после посева кукурузы. Под ячмень и озимый рапс соответственно после уборки кукурузы и ячменя проводится поверхностная обработка почвы дисковым на глубину 10–12 см.

На фоне приведенных вариантов предшественников и способов основной обработки почвы под культуры севооборота исследовались различные системы удобрения (табл. 1).

Экспериментальные полевые исследования проводились в 2010–2015 гг. на землях Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства. Почвы торфяно-минеральные, подстилаемые песком с глубины 35–45 см. Агрохимическая характеристика почвы (A_n) опытного поля: содержание органического вещества – 20–22 %, pH в KCl – 5,7–5,9 мг/кг, доступные растениям соединения (в 0,2 М уксусной кислоте): азот – 98 (низкое); P_2O_5 – 87 (низкое); K_2O – 513 (среднее) кг/га. Подвижные формы (в 0,2 М HCl) P_2O_5 – 376 (среднее) и K_2O – 399 (среднее), ZnO – 8,1 (низкое) и SiO – 5,8 (среднее) мг/кг почвы. Опыт заложен в двух полях, четырех кратной повторности, площадь делянки – 24 м².

Таблица 1

Схема распределения удобрений по культурам звена севооборота

Вариант системы удобрений основных культур ¹⁾	Культуры				Внесено удобрений НРК, кг/га	
	однолетние травы ²⁾	кукуруза на силос	ячмень	озимый ³⁾ рапс		всего за звено севооборота
1. Основные культуры без удобрений (общий фон – N ₁₆₁ P ₉₉ K ₁₅₀)	N ₁₁₅ P ₅₀ K ₇₅	–	–	N ₄₆ P ₄₉ K ₇₅	N ₁₆₁ P ₉₉ K ₁₅₀	N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈
2. Базовая: доза азота рассчитывается на возмещение выноса, P ₂ O ₅ – 150 и K ₂ O – 130 % к выносу	N ₁₁₅ P ₅₀ K ₇₅	N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₂₄₀	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₄₀	N ₁₆₅ P ₁₂₀ K ₁₆₀ + N ₄₆ P ₄₉ K ₇₅	N ₆₂₆ P ₄₄₄ K ₆₉₀	N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃
3. Доза азота определяется по выносу и корректируется с учетом содержания минерального азота в почве, P ₂ O ₅ и K ₂ O – 110 % к выносу	N ₁₁₅ P ₅₀ K ₇₅	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₂₀ + N ₄₆ P ₄₉ K ₇₅	N ₅₂₁ P ₃₄₉ K ₅₇₀	N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃
4. Вариант 3 + микроэлементы, регу- ляторы роста (PP)	N ₁₁₅ P ₅₀ K ₇₅	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀ , Zn, Экосил	N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ Cu, Экосил, PP	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₂₀ Cu, В, Экосил + 46P ₄₉ K ₇₅	N ₅₂₁ P ₃₄₉ K ₅₇₀ МЭ, PP, Эко- сил,	N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃
5. Вариант 3 – МДУ	N ₁₁₅ P ₅₀ K ₇₅	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₈₀	N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	N ₁₃₅ P ₉₀ K ₁₂₀ элегум В, гуматы + N ₄₆ P ₄₉ K ₇₅	N ₅₂₁ P ₃₄₉ K ₅₇₀ элегум В, гуматы	N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃

Примечание. Вариант системы удобрений¹⁾: 1. Без удобрений. Для выравнивания плодородия почвы опытного участка доза удобрений применялась одного уровня под однолетние травы (две культуры) – N₁₁₅P₅₀K₇₅ (пелюшка + овес – N₄₅P₅₀K₇₅; поукосно редька масличная – N₇₀).
2. Базовая: Доза азота рассчитана на возмещение выноса, а фосфора 150 и калия 130 % к выносу (на возмещение выноса элементов с урожаем и дополнительно на повышение плодородия почвы).
3. Компенсация выноса РК на 110 %, доза азота определяется по выносу с урожаем и корректируется с учетом содержания минерального азота в почве.

4. Вариант 3 + микроэлементы, БАВ, ретарданты.
5. Медлендействующие удобрения марки N₅P₁₆K₃₅ с добавкой азотных удобрений, бора и цинка.
**) – после уборки озимого рапса пожнивно высеяна пелюшко-овсяная смесь на зеленый корм, внесено общим фоном N₄₆P₄₉K₇₅.

Исследования проводились с кукурузой гибрид Алмаз, норма высева – 110 тыс. всхожих зерен, ширина междурядий – 70 см, планируемая урожайность – 600 ц/га зеленой массы (СВ 25 %). Яровой ячмень сорт Атаман, норма высева – 4 млн всхожих зерен, планируемая урожайность – 50 ц/га. Озимый рапс сорт Зорны, норма высева – 1 млн всхожих зерен, планируемая урожайность маслосемян – 45 ц/га. В соответствии базовой технологии без внесения органических расчетные дозы минеральных удобрений составили под кукурузу – $N_{180}P_{135}K_{240}$, ячмень – $N_{120}P_{90}K_{140}$ и озимый рапс – $N_{165}P_{120}K_{160}$.

Формы удобрений: основное внесение – мочевины, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий. В подкормку растений кукурузы и ячменя применяли мочевины, а под озимый рапс – сернокислый аммоний. В варианте 4 в подкормку внесены микроэлементы в хелатной форме в смеси с биологически активным веществом Экосил – 100 мл/га, гуматы – 2 л/га, ретардант Терпал – 1,5 л/га. Объем рабочего раствора – 200 л/га.

Агротехника возделывания кукурузы, ячменя и озимого рапса в опыте – рекомендованная в зоне Полесья.

Погодные условия вегетационных периодов в годы проведения исследований были контрастными и оказали различное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В зимний период 2011 г. выпало осадков меньше нормы. Это привело к формированию низких весенних запасов влаги в почве. Две декады мая и первая июня отмечались недостатком осадков, что привело к задержке всходов и слабому развитию кукурузы в этот период. Только во второй и третьей декаде июня с выпадением осадков повысилось содержание влаги в почве и влагообеспеченность растений. Вторая половина вегетационного периода по влагообеспеченности и среднесуточной температуре была благоприятной для роста и развития кукурузы. Мониторинг за водным режимом почвы на опытном участке также показал, что в 2011 г. только в течение июня месяца уровень залегания грунтовых вод был на уровне 118–129 см, что ниже оптимального. В другие месяцы уровень залегания грунтовых вод колебался в пределах 82–103 см, что близко к оптимальному. Весь период вегетации среднесуточная температура воздуха была на 0,5–2,4 °С выше нормы. В целом погодные условия 2011 г. считаются хорошими для формирования высокой урожайности зеленой массы кукурузы. В 2012 г. погода была контрастной: чередование прохладной и дождливой с жаркой и сухой. Обилие осадков и низкой температуры пришлось на первую половину вегетации кукурузы, что для этой культуры нежелательно. В первой декаде июня выпали осадки, в этот период отмечалась прохладная погода с ночными заморозками до –7,2 °С, которые привели к повреждению растений и торможению роста кукурузы. Однако благоприятные погодные условия роста и развития в июле и, особенно, в августе способствовали интенсивному вегетативному росту, цветению, оплодотворению и формированию початков кукурузы. Уровень грунтовых вод в первой половине вегетации был близким к оптимальному (92–112 см), а в период июль–сентябрь – ниже оптимального (120–150 см). В то же время в опыте на исследуемых почвах получена и в этом году достаточно высокая урожайность зеленой массы кукурузы. Это указывает с одной стороны на пригодность антропогенно-преобразованных торфяных почв для возделывания кукурузы в экстремальных погодных условиях, а с другой – высокие адаптационные свойства этой культуры к таким условиям.

Неблагоприятные для роста и развития ячменя погодные условия вегетационных периодов 2012 г. и, особенно, 2013 г. оказали негативное влияние на формирование урожайности этой культуры. В 2012 г. в первый период вегетации растений – в 3-й декаде мая – начале июня месяца отмечалось наличие низких температур, которые привели к торможению роста ячменя. В июне 2013 г. гидрологический режим в зоне Полесья был крайне неблагоприятным для формирования урожайности зерновых культур. Посевы этих культур на отдельных полях были залиты водой, обильно росли сорняки, особенно куриное просо на посевах ячменя. Во второй половине июня и июль месяцы температура воздуха превышала среднюю многолетнюю, часто достигая + 30 °С и более. Что способствовало ускоренному созреванию растений, получению щуплого зерна и интенсивному росту сорной растительности, особенно куриного проса. Поэтому, несмотря на удовлетворительное соблюдение технологии возделывания, урожайность ячменя в опыте получена ниже, чем в предыдущей пятилетке при более благоприятных погодных условиях.

При возделывании озимого рапса погодные условия различались по годам исследований и были контрастными по этапам органогенеза растений, что повлияло на формирование урожайности. В апреле-мае 2013 года погода была сырая и холодная. Температура почвы в апреле в среднем составила –2 °С, достигая в отдельные ночи до –7 –13 °С. В первой декаде мая и 3-ей июня на почве были заморозки до –5 °С. В мае-июне гидрологический режим был неблагоприятным для формирования урожайности озимого рапса. Посевы этой культуры были угнетены от избытка влаги. В то же время во второй половине июня и июль месяцы температура воздуха превышала среднюю многолетнюю, часто достигая +30 °С и более. Это способствовало ускоренному созреванию растений, получению щуплого зерна и интенсивному росту сорной растительности. В условиях же 2014 г. в апреле, июне и июле отмечался недостаток осадков и влаги в почве, наличие высокой температуры в июне привело к преждевременному усыханию стручков и растений рапса и снижению ожидаемой урожайности.

Содержание в почве органического вещества определяется методом озоления пробы, кислотность – в 1М KCl. Содержание фракций азота, фосфора и калия определялось по разработанным автором статьи методам [16, 17], а подвижных форм фосфора и калия в 0,2М HCl вытяжке – по методу Кирсанова [18], рекомендуемого Агротехслужбой для торфяных почв.

Статистическая обработка результатов полевых и лабораторных исследований проводилась по Доспехову Б.А. [19] с использованием ПК соответствующих программ для дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа. Для расчета выхода кормовых единиц и обменной энергии с урожаем использованы нормативы, приведенные в справочнике [20], а протеина – результаты собственных исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлены средние за 2 года по каждой культуре результаты полевых и лабораторных исследований по оценке эффективности комплексного действия систем удобрения на фоне зяблевой вспашки, поверхностного дискования и сидерата в виде кулисной культуры на продуктивность культур кормового севооборота. Установлено, что средняя урожайность однолетних трав: зеленой

массы пелюшко-овсяной смеси составила 35,4 и редьки масличной – 64,9 т/га. Урожайность зеленой массы пожнивно высеяной (после уборки озимого рапса) пелюшко-овсяной смеси на зеленый корм составила 29,5 т/га, которая также учтена при расчетах продуктивности культур севооборота.

Таблица 2

Влияние комплекса агробиотехнологических приемов на продуктивность культур кормового севооборота

Системы удобрений (NPK кг/ год)	Урожайность основной продукции, т/га				Среднее за год по севообороту ^{*)}			переваримый протеин, г/к.ед.
	однолетние травы, зеленая масса (сумма)	кукуруза, (30 % СМ)	ячмень, зерно	озимый рапс, семена	к.ед. т/га	обменная энергия, ГДж/га	переваримый протеин, ц/га	
<i>Зяблевая вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков (базовый вариант технологий)</i>								
1. Без удобрений (фон – N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈)	100,3	36,7	2,63	2,72	9,5	91,3	13,7	144
2. N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃	100,3	51,1	3,77	3,85	11,6	109,2	15,9	137
3. N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃	100,3	48,5	3,75	3,93	11,3	107,5	15,7	139
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	100,3	56,9	3,77	4,14	12,1	114,0	16,4	136
<i>Дискование (10–12 см), последствие пожнивно-корневых остатков</i>								
1. Без удобрений (фон – N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈)	100,3	38,0	2,93	2,70	9,7	92,7	15,9	164
2. N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃	100,3	50,1	3,85	3,75	11,3	108,1	15,5	137
3. N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃	100,3	51,3	3,96	3,94	11,5	109,7	16,2	141
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	100,3	56,3	4,10	4,19	12,0	114,4	16,2	135
<i>Дискование (10–12 см), последствие сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной</i>								
1. Без удобрений (фон – N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈)	35,4	56,9	3,01	2,72	9,0	90,5	10,1	112
2. N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃	35,4	66,6	4,05	4,0	10,7	105,3	12,4	116
3. N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃	35,4	69,9	4,17	4,19	11,0	108,6	12,3	112
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	35,4	74,1	4,16	4,59	11,5	112,7	13,3	116
5. Вариант 3 – МДУ	35,4	77,4	4,03	4,51	11,7	113,4	13,0	111

^{*)} – с учетом продуктивности зеленой массы пелюшко-овсяной смеси 29,5 т/га пожнивно высеяной после озимого рапса.

На фоне последствия удобрений, внесенных под однолетние травы, и пожнивно – корневых остатков редьки масличной урожайность зеленой массы кукурузы при зяблевой вспашке и поверхностном дисковании различается несущественно и колеблется в пределах 36,7–38,0 т/га. Дополнительное внесение

минеральных удобрений в дозах $N_{180}P_{135}K_{240}$, рассчитанных на вынос элементов питания с урожаем и повышение плодородия почвы (базовый вариант 2), обеспечивает повышение урожайности до 50,1–51,1 т/га, т.е. на 14,4 т/га на вспашке и 12,1 – дисковании. Применение более низких доз удобрений ($N_{135}P_{90}K_{180}$), рассчитанных на вынос с урожаем и поправкой дозы азота с учетом содержания его в почве (вариант 3), повышает в сравнении с вариантом «без удобрений» урожайность зеленой массы кукурузы на 11,8 т/га – при вспашке и 13,3 т/га – при дисковании. Таким образом, в среднем по двум способам обработки почвы по исследуемым вариантам систем удобрения (2 и 3) получена примерно равная прибавка урожайности зеленой массы кукурузы (13,1 и 12,7 т/га соответственно), различия несущественны, так как отклонение от среднего арифметического составляет менее 1 %. Более высокая урожайность зеленой массы (56,9–56,3 т/га) в опыте получена на фоне вспашки и дискования при комплексном применении сбалансированных по выносу доз макро- и микроудобрений и биологически активных веществ (вариант 4).

Из приведенных в таблице 2 данных видно, что урожайность зерна ячменя при применении повышенных доз NPK (вариант 2) – (3,80 т/га) в целом не имеет преимуществ по урожайности перед вариантом доз удобрений, рассчитанных на вынос с планируемой урожайностью (вариант 3) – (3,86 т/га). Более высокая урожайность ячменя получена в вариантах с внесением средних доз удобрений в комплексе с микроэлементами, регулятором роста и биологически активными веществами на фоне дискования – 4,14 т/га, что на 0,33 т/га больше, чем по фону вспашки. Считаем, что на повышение урожайности положительное влияние оказал более благоприятный водный режим при осеннем дисковании почвы. В условиях 2012 г. урожайность ячменя по этому варианту внесения удобрений была более высокой и достигала 4,83 т/га.

Уровень урожайности семян озимого рапса в среднем за два года по варианту системы удобрений, предусматривающей внесение повышенных доз (вариант 2), также не имеет преимуществ перед вариантом доз удобрений, сбалансированных по выносу с планируемой урожайностью (вариант 3). Более высокая урожайность озимого рапса на фоне разных способов обработки почвы получена в вариантах (4) с внесением сбалансированных доз удобрений в комплексе с микроэлементами и биологически активными веществами, которая составила 4,14–4,19 т/га. В условиях 2013 г., более благоприятного для вегетации озимого рапса, урожайность по этому варианту внесения удобрений достигала 4,8 т/га. В 2014 г. озимый рапс был убран уже в начале июля, так как при высокой температуре воздуха стручки быстро высыхали и начинали растрескиваться, что приводило к потере семян.

Особого внимания заслуживает эффективность последствия сидерата в виде кулисной культуры. Использование редьки масличной в качестве кулисной культуры обеспечило без внесения удобрений повышение, в сравнении с базовым вариантом технологий (зяблевая вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков), урожайности зеленой массы кукурузы на 20,2 т/га. При дополнительном внесении удобрений на фоне последствия сидерата достигнута урожайность 66,6–77,4 т/га. В сравнении с базовым вариантом технологий на фоне кулисной культуры урожайность по аналогичным вариантам внесения удобрений повысилась на 30–44%. Внесение повышенных доз удобрений (вариант 2) в сравнении

с вариантом 3 по действию на урожайность преимуществ не имеет. Наиболее высокая урожайность зеленой массы кукурузы получена при комплексном применении сбалансированных по выносу элементов питания с урожаем доз макро- и микроудобрений и биологически активных веществ – 74,1 т/га. Также высокая урожайность зеленой массы кукурузы на фоне кулисной культуры получена при внесении медленнодействующей формы удобрения марки $N_5P_{16}K_{35}$ с добавкой азотных удобрений, бора и цинка, которая составляет 77,4 т/га.

Представленные результаты исследований так же показывают, что урожайность зерна ячменя как в варианте «без удобрения», так и в вариантах других исследуемых систем удобрения на фоне последствия кулисной культуры сформировалась выше на 0,26–0,42 т/га в сравнении с базовым вариантом технологий, достигнув уровня 4,03–4,17 т/га. Применение повышенных доз NPK (вариант 2) не имеет преимуществ по урожайности перед вариантом доз удобрений, рассчитанных на вынос с планируемой урожайностью (вариант 3). При более благоприятных погодных условиях 2012 года урожайность ячменя по этому варианту внесения удобрений достигала 5,0 т/га.

Последствие сидерата в виде кулисной культуры проявилось и на посевах озимого рапса. При этом уровень урожайности семян рапса в среднем за два года по системе удобрений, предусматривающей внесение повышенных доз (вариант 2), не имеет преимуществ перед вариантом (3) доз удобрений, сбалансированных по выносу с планируемой урожайностью. Более высокая урожайность получена в вариантах с внесением сбалансированных доз удобрений в комплексе с микроэлементами, регулятором роста и биологически активными веществами, которая составляет 4,51–4,59 т/га. Прибавка урожайности от последствия кулисной культуры в вариантах с внесением удобрений колебалась от 0,15 до 0,45 т/га. Более высокая прибавка получена в вариантах с применением сбалансированных доз макро – и микроудобрений, биологически активных веществ.

Таким образом, кулисная культура редьки масличной оказывает положительное влияние на рост урожайности культур севооборота в течение трех лет исследований. Установлено, что за счет последствия кулисной культуры максимальный прирост урожайности составил: зеленой массы кукурузы – 21,4 т/га, ячменя – 0,42 и семян озимого рапса – 0,45 т/га.

Важной характеристикой продуктивности кормовых севооборотов является выход кормовых единиц, обменной энергии и переваримого протеина с единицы площади. Представленные в таблице 2 результаты оценки влияния различных способов обработки почвы, предшественников и систем применения удобрений на продуктивность культур кормового севооборота показывают, что выход кормовых единиц в среднем за севооборот в вариантах с применением удобрений на фоне вспашки и поверхностного дискования почвы достиг уровня 11,3–12,1 т/га. При этом в среднем по двум способам обработки почвы применение повышенных доз удобрений (вариант 2) не имеет преимуществ перед внесением умеренных доз (вариант 3). Наиболее высокий выход кормовых единиц получен при внесении сбалансированных по выносу доз удобрений в комплексе с применением микроэлементов (цинк, медь) и Экосила (вариант 4), который составляет 12,0–12,1 т/га, что на 12–13 % выше фона.

Установлено, что при возделывании промежуточных в виде основных, поукосных и пожнивных культур, кукурузы, ячменя и озимого рапса на торфяно-мине-

ральных почвах выход обменной энергии может достигать при внесении удобрений в среднем за 4 года 107–114,4 ГДж/га. Отмечается более высокий выход обменной энергии (114,4 ГДж/га) и прибавки к фону 25 % при внесении сбалансированных по выносу с урожайностью доз минеральных удобрений в комплексе с микроэлементами цинком, медью и Экосилом (вариант 4).

Возделывание кормовых культур на исследуемых почвах с применением удобрений позволяет обеспечить выход переваримого протеина на уровне 15,5–16,4 ц/га. По переваримому протеину, как и по выходу кормовых единиц, наиболее высокие прибавки получены при внесении сбалансированных по выносу с планируемой урожайностью доз удобрений в комплексе с микроэлементами цинком, медью и Экосилом, которые составляют 16,2–16,4 ц/га. Различия в уровне выхода переваримого протеина при разных способах основной обработки почвы незначительны. Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином по исследуемым вариантам систем удобрения колеблется в пределах 135–141 г/к.ед., что выше физиологической нормы для животных. При этом от способов обработки почвы обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином изменяется незначительно.

Продуктивность культур севооборота, возделываемых на фоне кулисной культуры (урожайность зеленой массы редьки масличной не учитывается), по выходу кормовых единиц и обменной энергии примерно одного уровня с продуктивностью базового варианта. Различия по выходу кормовых единиц и обменной энергии по вариантам систем удобрений и предшественников находятся в основном в пределах 2–5 %. Только по выходу переваримого протеина базовый вариант предшественника из-за высокого содержания азота в зеленой массе редьки масличной, используемой на корм, превосходит выход переваримого протеина культур севооборота на фоне последствия кулисной культуры. Однако и по этому предшественнику обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином в среднем составляет 112–116 г/к.ед., что выше физиологической нормы.

Применение медленнодействующих форм по продуктивности культур кормового севооборота в целом не имеет преимуществ в сравнении с вариантом системы комплексного применения удобрений, микроэлементов, ретардантов и биологически активных веществ.

Таким образом, на фоне зяблевой вспашки или поверхностного дискования кормовой севооборот, включающий возделывание промежуточных и основных культур, обеспечивает среднегодовой выход кормовых единиц 11,3–12,1 т/га с содержанием переваримого протеина 135–141 г/к.ед. и до 114 ГДж/га обменной энергии. Использование сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной при сбалансированной системе применения удобрений обеспечивает аналогичную приведенную выше продуктивность кормового севооборота. Однако ресурсосберегающая и природоохранная функция такого варианта использования торфяно-минеральной почвы имеет несомненные преимущества.

При оценке систем применения удобрений важным показателем их эффективности служит окупаемость дополнительно получаемой продукцией. Из приведенных данных в таблице 3 видно, что урожайность кормовых культур на 75–80 % формируется за счет почвенного плодородия. Только при комплексном применении удобрений и других факторов интенсификации производства кормовых

культур доля почвенного плодородия в формировании урожайности снижается в среднем до 70 %. Наиболее низкая окупаемость удобрений (среднее по разным способам обработки почвы) – 4,1 к.ед./кг NPK получена при внесении их в дозах, рассчитанных на возмещение выноса элементов с урожаем и повышение плодородия почвы (базовый вариант 2). Применение сбалансированных по выносу доз удобрений обеспечивает повышение их окупаемости до 5,2 к.ед./кг NPK. Максимального же уровня окупаемости удобрений – 6,8 к.ед./кг NPK в среднем по всем видам обработок почвы достигается применением сбалансированных по выносу доз удобрений в комплексе с микроэлементами и регуляторами роста (вариант 4). Таким образом, в сравнении с базовой системой применения удобрений (вариант 2) внесение умеренных сбалансированных по выносу доз удобрений (вариант 3) повышает их окупаемость на 27, а при дополнении микроэлементов и Экосила – 66 %. Безусловно, в сумме прибавки по этому варианту системы применения удобрений присутствует и доля микроэлементов и Экосила. В то же время нельзя отрицать факта, что при дополнении в систему удобрения микроэлементов (цинк, медь) и биологически активных веществ (Экосила, гуматов) более эффективно используются азот, фосфор и калий удобрений. Так же получена высокая окупаемость медленно действующей формы удобрений – 7,5 к.ед./кг NPK, в которую добавлены микроэлементы бор и цинк.

Таблица 3

Эффективность систем применения удобрений под культуры севооборота на фоне разных способов обработки почвы

Система удобрений (NPK кг/га/ год)	Выход к.ед.	Прибавка к фону от удобрений		Окупаемость 1 кг NPK, к.ед.
	т/га	%		
<i>Вспашка, последствие пожнивно-корневых остатков</i>				
1. Без удобрения основных культур (фон – N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈) [*]	9,5	–	–	–
2. N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃ ^{***}	11,6	2,1	22	4,8
3. N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃ ^{****}	11,3	1,8	19	5,0
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	12,1	2,6	27	7,2
<i>Дискование 10–12 см, последствие пожнивно-корневых остатков</i>				
1. Без удобрения основных культур (фон – N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈)	9,7	–	–	–
2. N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃	11,3	1,6	16	3,6
3. N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃	11,5	1,8	19	5,0
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	12,0	2,3	24	6,4
<i>Дискование 10–12 см, последствие сидерата в виде кулисной культуры редьки масличной</i>				
1. Без удобрения основных культур (фон – N ₄₁ P ₂₄ K ₃₈)	9,0	–	–	–
2. N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃	10,7	1,7	19	3,9
3. N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃	11,0	2,0	22	5,6
4. Вариант 3 + МЭ, БАВ, РР	11,5	2,5	28	6,9
5. Вариант 3 – МДУ	11,7	2,7	30	7,5

В наших исследованиях изучался вариант 2 (базовый) системы удобрений, по которому предполагалось за счет применения повышенных доз фосфатов и калия увеличить содержание этих элементов питания в почве и, тем самым, повысить ее плодородие. По базовой технологии возделывания культур и системы применения удобрений (вариант 2) за три года под основные культуры внесено больше в сравнении с ресурсосберегающей (вариант 3) – азота на 105, P_2O_5 – 95 и K_2O – 120 кг/га. Однако, при внесении повышенных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений по базовой системе увеличения в сравнении с вариантом 3 урожайности и выноса этих элементов минерального питания с урожаем кукурузы, ячменя и озимого рапса не установлено. Ожидалось, что не используемые на создание урожая элементы питания поглотились почвой в виде различных соединений. Важно было выявить прочность связи этих соединений и доступность элементов питания растениям в будущем. Приведенные в таблице 4 результаты исследований показывают, что исходное (2011 г.) содержание минеральных и усвояемых форм азота, легкодоступных соединений фосфора и калия в вариантах «без удобрений», базовой и ресурсосберегающих систем удобрения различается несущественно. Изменения находятся в пределах ошибки анализа. Через три года (2014 г.) содержание соединений азота, фосфора и калия в варианте «без удобрения», базовой и ресурсосберегающей систем удобрения так же находятся примерно на одном уровне. Изменения в содержании этих элементов в сравнении с исходным несущественны (отклонения от среднеарифметического первого и второго срока определения менее 10 %), т.е. увеличение в содержании определяемых соединений азота, фосфора и калия в почве при использовании повышенных доз удобрений несущественно. В целом имеется тенденция снижения содержания подвижных соединений фосфатов и повышения обменного калия.

Таблица 4

Динамика изменения агрохимических свойств почв в севообороте, мг/кг почвы

Система удобрения	Год	Азот		Соединения P_2O_5			Соединения K_2O		
		N мин.	N усв.	легко-доступные	доступные	подвижные	водорастворимые	доступные	обменные
Без удобрения	2011*)	61	182	20	68	347	138	260	307
	2014**)	67	189	23	66	320	111	218	334
	± к исх.	+6	+7	+3	-2	-27	-27	-42	+27
$N_{157}P_{111}K_{173}$	2011	61	184	20	70	360	148	286	318
	2014	65	210	22	62	330	122	239	338
	± к исх.	+4	+26	+2	-	-30	-26	-47	+20
$N_{130}P_{87}K_{143}$	2011	62	222	22	70	356	183	285	317
	2014	65	205	20	60	303	126	239	346
	± к исх.	+3	-17	-2	-10	-53	-57	-46	+29

*) – до внесения удобрений; **) – после уборки озимого рапса.

Можно предположить, что за исследуемый период часть подвижных соединений фосфора и калия почвы и внесенных удобрений трансформировались в более прочные соединения и/или мигрировало. Подтверждением этому могли бы быть данные, отражающие изменения содержания в почве труднодоступных растениям соединений фосфатов, растворимых в 4 М HCl (за вычетом доступных), и необменной формы калия (табл. 5). При внесении повышенных доз удобрений (вариант 2) за три года содержание в почве этих соединений фосфатов и необменной формы калия увеличилось в сравнении с исходным состоянием по всем системам удобрения. Содержание в почве соединений фосфатов повысилось от 65 (ресурсосберегающий вариант системы удобрения) до 15 мг/кг почвы (базовый вариант) или соответственно от 8 до 18 %.

Таблица 5

Изменения в содержании труднодоступных соединений фосфатов и необменных форм калия в севообороте, мг/кг почвы

Система удобрения	Труднодоступные соединения фосфатов (4М HCl)			Необменные формы калия		
	2011 г.	2014 г.	± к исх., %	2011 г.	2014 г.	± к исх., %
Без удобрения	869	994	+14	573	616	+8
N ₁₅₇ P ₁₁₁ K ₁₇₃	904	1064	+18	595	743	+25
N ₁₃₀ P ₈₇ K ₁₄₃	935	1010	+8	555	650	+17

Содержание необменной формы калия также в наибольшей степени увеличилось при внесении повышенных доз калийных удобрений (базовый вариант системы удобрения) + 25 % к исходному. В целом и по этим соединениям фосфатов и калия вариантам систем удобрения отмечается положительный баланс элементов питания в почве. Однако если достоверность изменений содержания фосфатов и калия второго срока по отношению к исходному оценивать более строго по отклонению от средней арифметической, то только по калию при внесении повышенных доз этих удобрений это увеличение можно оценивать как существенное (более 10 %).

Таким образом, при базовой системе удобрений за три года достоверного прироста содержания в почве подвижных фосфатов, обменного калия и других легкорастворимых соединений этих элементов не произошло. В то же время по этой системе удобрений содержание труднодоступных растениям соединений фосфатов и необменного калия увеличилось более значимо. По варианту ресурсосберегающей системы удобрений содержание этих соединений фосфатов и калия хотя и в меньшей степени, но также увеличилось, баланс положительный. Вероятно, для существенного увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфатов и калия необходим более длительный период внесения повышенных доз этих видов удобрений. Что связано с увеличением дополнительных затрат.

ВЫВОДЫ

1. На фоне зяблевой вспашки или поверхностного дискования и применения удобрений кормовой севооборот, включающий возделывание промежуточных культур на зеленый корм урожайностью более 120 т/га, кукурузы на зеленую массу – 50,3–56,6, ячменя – 3,8–4,1 и семян озимого рапса – 3,8–4,2 т/га, обеспечивает близкий по способам обработки почвы среднегодовой выход кормовых единиц в пределах – 11,3–12,1 т/га с содержанием переваримого протеина 135–141 г/к.ед. и до 114 ГДж/га обменной энергии.

2. При внесении повышенных доз по базовой системе удобрений окупаемость их продукцией в зависимости от способа основной обработки почвы колеблется в пределах 3,6–4,8, а в среднем составляет 4,1 к.ед./кг NPK. Применение сбалансированных по выносу доз удобрений на фоне тех же способов основной обработки почвы обеспечивает повышение их окупаемости до 5,2 к.ед./кг NPK или на 27 % выше базовой. Максимального же уровня окупаемость удобрений – 6,8 к.ед./кг NPK или на 66 % выше базовой в среднем по всем видам обработок почвы достигается применением сбалансированных по выносу доз удобрений в комплексе с микроэлементами и регуляторами роста (вариант 4).

3. Применение повышенных доз фосфорных и калийных удобрений в течение трех лет не обеспечивает достоверного увеличения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия, так как поглощенные почвой эти элементы трансформируются в труднодоступные минеральные соединения фосфатов и необменный калий. Для более заметного повышения содержания в почве подвижных соединений фосфора и калия необходимо эти виды удобрений в повышенных дозах применять более длительный срок.

4. Использование кулисной культуры редьки масличной в виде сидерата при сбалансированной системе внесения удобрений обеспечивает аналогичную приведенную выше продуктивность кормового севооборота (11,5 т/га к.ед.). Однако ресурсосберегающая и природоохранная функция такого варианта использования торфяно-минеральной почвы имеет несомненные преимущества. Сидерат в виде кулисной культуры редьки масличной по своему действию на продуктивность культур севооборота и плодородие почвы эквивалентен внесению около 45 т/га навоза, исключает необходимость проведения зяблевой вспашки почвы под кукурузу, сводит до минимума потери ОВ почвы, улучшается ее водный режим и фитосанитарное состояние посева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практ. пособие; под ред. Г.И. Кузнецова, Н.И. Смеяна. – Минск: Оргстрой, 2001. – 432 с.

2. *Бамбалов, Н.Н.* Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н.Н. Бамбалов; под ред. А.В. Тишковича. – Минск: Наука и техника, 1984. – 176 с.

3. *Жилко, В.В.* Почвозащитные севообороты на дефляционных землях Белорусского Полесья / В.В. Жилко, Н.Н. Цыбулька, А.Ф. Черныш / Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорированных земель: материалы конференции. – Минск, 2000. – С. 202.

4. *Семененко, Н.Н.* Торфяно-болотные почвы Полесья: их трансформация и пути эффективного использования / Н.Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 282 с.

5. *Скоропанов, С.Г.* Эволюция торфяных почв / С.Г. Скоропанов, Н.Н. Бамбалов, П.Ф.Тиво // Охрана с.-х. угодий и окружающая среда. – Минск, 1984. – С. 193–210.

6. *Черныш, А.Ф.* Дефляция почв в Беларуси / А.Ф. Черныш, Ю.А. Чижиков // Природные ресурсы. – 2005. – № 3. – С. 38–50.

7. *Черныш, А.Ф.* Влияние почвозащитных обработок на дефлекцию торфяно-болотных почв и продуктивность / А.Ф. Черныш, А.В. Юхновец // Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель. – Минск, 2005. – С. 432–434.

8. *Мееровский, А.С.* Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, В.П. Трибис // Новости науки и технологий. – 2012. – № 4(23). – С. 3–9.

9. Национальный доклад о состоянии, использовании и охране земельных ресурсов (по сост. на 1 янв. 2011 г.) / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь; под ред. Г.И. Кузнецова. – Минск: РУП «БелНИЦзем», 2011 – 184 с.

10. Программа мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв в Республике Беларусь на 2011–2015 гг. / В.Г. Гусаков [и др.]; под ред. В.Г. Гусакова. – НАН Беларуси, МСХП РБ, Госкомимущества, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 106 с.

11. *Лапа, В.В.* Оптимальные дозы удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск, 2002. – 24 с.

12. Справочник агрохимика / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.

13. Система применения органических и минеральных макро- и микроудобрений в севооборотах: рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 56 с.

14. *Семененко, Н.Н.* Продуктивность антропогенно-преобразованных торфяных почв Полесья в зависимости от предшественника основных культур и типов севооборотов / Н.Н. Семененко, П.П. Крот // Земляробства і ахова раслін. – 2012. – № 6. – С. 19–25.

15. *Семененко, Н.Н.* Ресурсосберегающая почвозащитная технология возделывания кукурузы на зеленую массу на дегроторфяных почвах Полесья / Н.Н. Семененко, Е.В. Каранкевич // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 6(97). – С. 10–13.

16. *Семененко, Н.Н.* Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в деградированных торфяных почвах / Н.Н. Семененко, В.А. Журавлев. – Минск, 2005. – 24 с.

17. *Семененко, Н.Н.* Агрохимические методы исследования состава соединений азота, фосфора и калия в торфяных почвах / Н.Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 78 с.

18. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО / ГОСТ 26207-84. – М., 1984. – 6 с.

19. *Доспехов, Б.А.* Основы методики полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1982. – 280 с.

20. Справочник нормативных трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства. – Минск: Беларус. навука, 2006. – 709 с.

IMPACT OF COMPLEX AGROBIOTECHNOLOGICAL TECHNIQUES ON PRODUCTIVITY OF CROP ROTATION, FERTILIZER EFFICIENCY AND FERTILITY OF PEAT-MINERAL SOILS OF POLES' E

N.N. Semenenko, E.V. Karankevich, N.M. Avramenko

Summary

On the background of autumn ploughing or surface disking of the fodder crop rotation including the cultivation of basic and intermediate crops for green forage, provides almost the same methods of tillage, the average annual output of feed units – 11,3–12,1 t/ha with a high content of digestible protein and metabolizable energy. Apply balanced on the removal with the harvest doses of fertilizer ensures an increase in their cover compared to the basic fertilizer system of 27 %. The introduction of high doses of phosphate and potash fertilizers for three years does not provide a significant increase in the content in soil of mobile compounds of phosphorus and potassium. Use the blind culture of oilseed radish in the form of green manure improves productivity of fodder crop rotation (11.5 t/ha f.u.), at lower cost, minimizes the loss organic matter of the soil.

Поступила 12.01.17