

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДВЕРГШЕЙСЯ СКРЫТОЙ ДЕГРАДАЦИИ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ УСКОРЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЕЁ ПЛОДРОДИЯ

А. И. Иванов^{1,2}, член-корреспондент РАН,
Ж. А. Иванова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, П. А. Филиппов¹

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14
E-mail: office@agrophys.ru

²Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное подразделение Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН,
196608, Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, 7

Исследования проводили с целью изучения воздействия ускоренного окультуривания на комплекс свойств среднеокультуренной агродерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборотов разной интенсивности. Работу выполняли в 2006–2018 гг. в Ленинградской области. Схема стационарного полевого опыта включала следующие варианты: окультуренность почвы (фактор А) – средняя, хорошая, высокая; уровень применения минеральных удобрений (фактор В) – средний (NPK 1 – 112 кг/га в полевом и 205 кг/га – в овощекормовом севообороте), повышенный (NPK 2 – 180 кг/га в полевом и 310 кг/га – в овощекормовом севообороте); севооборот (фактор С) – полевой, овощекормовой. При закладке опыта почва характеризовалась следующими показателями: рН_{KCl} – 5,6...6,4 ед., содержание органического вещества – 2,99...3,89 %, подвижных фосфатов и калия (по Кирсанову) – 296...434 и 229...720 мг/кг соответственно. Трансформацию свойств почвы изучали сравнительно-генетическим методом в серии почвенных разрезов. Вследствие интенсивного расширенного воспроизводства плодородия в хорошо- и высокоокультуренной почвах к окончанию опыта снижение плотности составляло 0,10 и 0,13 г/см³, повышение полевой влагоемкости – 3,8 и 5,9 %, доли агрономически ценных агрегатов – 13,5 и 23,6 %, величины рН_{KCl} – 0,55 и 0,58 ед., содержания углерода органического вещества – 0,42 и 0,52 %, подвижных соединений фосфора – 53 и 138, калия – 254 и 492 мг/кг соответственно. Прямым следствием комплексной оптимизации питательного режима супесчаной агродерново-подзолистой почвы стало увеличение продуктивности полевого и овощекормового севооборотов на 34...107 % к абсолютному контролю при рентабельности применения минеральных удобрений 85...284 %.

TRANSFORMATION SUBJECTED TO HIDDEN DEGRADATION AGROSOD-PODZOLIC SOIL UNDER ACCELERATED FERTILITY REPRODUCTION

Ivanov A. I.^{1,2}, Ivanova Zh. A.¹, Filippov P. A.¹

¹Agrophysical Research Institute,
195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskij prosp., 14

²North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – Sankt-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 196608, Sankt-Peterburg-Pushkin, sh. Podbel'skogo, 7

In order to study the impact of accelerated cultivation on the complex of properties of medium-cultivated agrosod-podzolic soil and the productivity of crop rotations of different intensity a stationary field experiment in the Menkov branch of the Agrophysical Institute in 2006...2018 was performed. The scheme included the following options: soil cultivation (factor A) – medium, good and high; the level of application of mineral fertilizers (factor B) – medium (NPK 1 – 112 kg ha⁻¹ in the field crop rotation and 205 kg ha⁻¹ in the vegetable feed crop rotation), increased (NPK 2 – 180 kg ha⁻¹ in the field crop rotation and 310 kg ha⁻¹ in the vegetable feed crop rotation); crop rotation (factor C) – field and vegetable feed. When laying down the experiment the soil of the plot had the following characteristics: the pH of K_{Cl} 5.6-6.4 units, the content of organic matter 2.99-3.89%, mobile phosphates and potassium (according to Kirsanov) 296-434 and 229-720 mg kg⁻¹, respectively. The transformation of soil properties was studied by a comparative genetic method in a series of soil sections. Due to intensive expanded reproduction of fertility of well- and highly cultivated soils, by the end of the experiment, the density reduction reached 0.10 and 0.13 g cm⁻³, an increase in field moisture capacity – 3.8 and 5.9%, the fraction of agronomically valuable aggregates – 13.5 and 23.6%, pH – 0.55 and 0.58 units, the carbon content of organic matter – 0.42 and 0.52 %, mobile phosphorus compounds – 53 and 138, mobile potassium compounds – 254 and 492 mg kg⁻¹, respectively. A direct consequence of the complex optimization of the nutrient regime of sandy loam agrosod-podzolic soil was an increase in the productivity of field and vegetable feed crop rotations by 34...107% to absolute control with the cost efficiency of the use of mineral fertilizers 85...284%.

Ключевые слова: агродерново-подзолистая почва, плодородие, окультуренность, минеральная система удобрения, эффективность

Key words: agrosod-podzolic soil, fertility, cultivation, mineral fertilizer system, efficiency

К концу 80-х гг. XX в. усилиями государства и земледельцев до 20 % площади пахотных дерново-подзолистых почв Северо-Западного региона было доведено до уровня хорошей окультуренности [1, 2]. Формирование таких почв, связанное с большими антропогенными затратами, было следствием существенной перестройки почвообразовательных процессов [2, 3, 4]. Уровень оптимизации отдельных почвенных свойств и режимов определялся при этом сочетание комплекса факторов: генетические особенности почвы и её буферность, специфика климатических условий и мелиоративного

воздействия, интенсивность систем земледелия, севооборотов и применения удобрений [4, 5, 6].

В условиях длительного экономического кризиса вследствие вынужденного отказа от надлежащего применения удобрений большая часть прежде хорошо окультуренных почв подверглась скрытой деградации в форме агроистощения [7, 8, 9], а их фонд сократился в 3 раза [2]. Причем, эффективное плодородие таких почв деградировало даже в состоянии залежи [10, 11, 12]. Негативную роль в этом направлении сыграли и последствия глобальных климатических изменений,

когда 10...15 %-ный прирост тепло- и влагообеспеченности в условиях региона стал фактором увеличения продуктивных и непродуктивных потерь минеральных элементов [13].

Как показали результаты длительных экспериментальных исследований, в интенсивных севооборотах с продуктивностью 6...9 тыс. зерн. ед./га на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах при мелиоративном управлении их водным режимом сохранение оптимальных кондиций должно быть сферой пристального внимания, особенно, относительно кислотно-основного и калийного статуса [14, 15, 16]. На таком негативном фоне системы удобрения, наряду с мелиорацией, возвращают себе статус одного из главных системообразующих факторов современного адаптивного земледелия [17, 18, 19].

С необходимостью быстрого восстановления утраченного плодородия почв в последние годы в разной мере сталкиваются практически все сельскохозяйственные предприятия региона и, особенно, участники Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [10, 12, 13]. Для практического решения этой задачи в ряде областей есть необходимая ресурсная база местных мелиорантов, органических и минеральных удобрений [20, 21, 22]. Однако комплексной оценки ускоренного воспроизводства плодородия ранее окультуренных, а сегодня слабо- и среднеокультуренных агродерново-подзолистых почв, не проводилось.

Цель исследования – изучение воздействия ускоренного окультуривания на основе интенсивного и гиперинтенсивного применения органических и минеральных удобрений на комплекс свойств среднеокультуренной агродерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборотов разной интенсивности.

Методика. Методической базой исследования служил длительный полевой эксперимент, заложенный в Меньковском филиале АФИ в 2006–2018 гг. Опытное поле расположено на озёрно-ледниковой равнине с агродерново-слабоподзолистой супесчаной почвой, сформировавшейся на двучленных отложениях (мало-мощной морене, подстилаемой с глубины 112...125 см озерно-ледниковым песком). По данным агрохимического обследования 1990 г., в пределах пахотного слоя почва характеризовалась следующими показателями: pH_{KCl} – 6,8 ед., содержание органического вещества – 4,08 %, подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову – 490 и 327 мг/кг соответственно. К закладке опыта величины этих показателей уменьшились соответственно до 5,6 ед., 2,99 %, 296 и 229 мг/кг.

Ускоренное воспроизводство плодородия этой почвы до хорошей и высокой окультуренности осуществляли в трёхлетних уравнильных посевах однолетних трав (2003–2005 гг.) с внесением на 1 га соответственно 1 или 3 т доломитовой муки, 220 или 540 т подстилочного навоза КРС. В результате к 2006 г. содержание органического вещества в хорошо окультуренной почве достигло в среднем 3,54 %, P_2O_5 – 349 мг/кг, K_2O – 482 мг/кг, pH_{KCl} – 6,2, в высокоокультуренной – 3,89 %, 434 мг/кг, 720 мг/кг, 6,4 ед. соответственно.

На опытном поле были введены развернутые во времени полевой (ячмень – многолетние травы – озимая рожь – картофель – однолетние травы) и овощекормовой (картофель – озимая пшеница – люпин узколистный – свёкла столовая – капуста белокачанная – ячмень) севообороты. Для поддержания соответствующей степени окультуренности дополнительно однократно за ротацию

севооборотов вносили: в хорошо окультуренную почву 40 т/га навоза в первой ротации и 35 т/га птичьего помета во второй, в высокоокультуренную – 80 и 70 т/га соответственно.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: окультуренность почвы (фактор А) – средняя, хорошая, высокая; уровень применения минеральных удобрений (фактор В) – средний (NPK 1 – 112 кг/га в полевом и 205 кг/га – в овощекормовом севообороте), повышенный (NPK 2 – 180 кг/га в полевом и 310 кг/га – в овощекормовом севообороте); севооборот (фактор С) – полевой, овощекормовой. Конкретные по культурам дозы удобрений устанавливали с учетом потребности в питательных веществах и планируемой аккумуляции в урожае приходящей на поверхность фотосинтетически активной радиации на уровне от 1,5...2,0 до 3,5...4,0 %.

Трансформацию почвообразовательных процессов при воспроизводстве плодородия деградированной дерново-подзолистой почвы изучали сравнительно-генетическим методом путём закладки почвенных разрезов на глубину 160 см. Определяли морфологические, агрофизические и агрохимические свойства почвы по генетическим горизонтам стандартизованными и общепринятыми методами [23, 24, 25]. Почвенные образцы отбирали из пяти точек центральной части каждого генетического горизонта, из пахотного слоя – тростьевым буром в радиусе 5 м от разреза.

Полевой эксперимент выполняли в трёхкратной повторности. Общая площадь делянки – 200 м². Учёт урожая – сплошной весовой. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием программного пакета Statistica 7.0. Достоверность различий оценивали по критерию Фишера. Результаты анализов почвенных образцов представлены средним значением и доверительным интервалом к нему в виде удвоенного стандартного отклонения [24].

Результаты и обсуждение. Одним из наиболее информативных методов контроля за почвообразовательными процессами выступает изучение морфологического строения почвенного профиля. Перед закладкой опыта в 2006 г. генетический профиль изучаемой почвы был представлен горизонтами: А_п – 0...22 см, А₁А₂ – 22...32 см, А₂В – 32...43 см, В – 43...91 см, ВС – 91...125 см, D – 125...160 см.

За 12 лет эксперимента в варианте абсолютного контроля пахотный горизонт среднеокультуренной почвы полевой севооборота заметно осветлился вследствие малого поступления исходных гумусообразователей, в нём появились признаки элювирования в форме припаханной жёлто-палевой присыпки. Прежний переходный горизонт А₁А₂ уже не диагностировался, на 7...8 см уменьшилась мощность горизонта А₂В. На фоне средних и повышенных доз минеральных удобрений, то есть превосходящей контрольный вариант массы послеуборочных растительных остатков морфологические свойства почвы аккумулятивно-элювиальных горизонтов не претерпели ощутимых изменений (см. рисунок).

Наиболее существенные позитивные изменения в строении почвенного профиля были обусловлены применением очень высоких доз органического удобрения на фоне поддерживающего известкования (хорошо- и высокоокультуренные почвы). Пахотный горизонт приобрёл более тёмную окраску, улучшилось его структурное состояние. Нижняя граница аккумулятивно-элювиальных горизонтов этих почв в обоих севооборотах опустилась на 13...16 см, уменьшилась плотность их сложения. У высокоокультуренной почвы отмечены затёки органического вещества в горизонт А₂В.

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высокоокультуренная		
	НПК 0 (Разрез 1 П)	НПК 1 (Разрез 2 П)	НПК 2 (Разрез 3 П)	НПК 0 (Разрез 4 П)	НПК 1 (Разрез 5 П)	НПК 2 (Разрез 6 П)	НПК 0 (Разрез 7 П)	НПК 1 (Разрез 8 П)	НПК 2 (Разрез 9 П)
10	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}
20									
30	A ₂ B	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁
40		A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B
50									
60	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
70									
80									
90									
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110									
120	D	D	D	D	D	D	D	D	D
130									
140									
150									
160									

а)

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высокоокультуренная		
	НПК 0 (Разрез 1 ОК)	НПК 1 (Разрез 2 ОК)	НПК 2 (Разрез 3 ОК)	НПК 0 (Разрез 4 ОК)	НПК 1 (Разрез 5 ОК)	НПК 2 (Разрез 6 ОК)	НПК 0 (Разрез 7 ОК)	НПК 1 (Разрез 8 ОК)	НПК 2 (Разрез 9 ОК)
10	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}
20									
30	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂
40									
50									
60	B	B	B	B	B	B	B	B	B
70									
80									
90									
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110									
120	D	D	D	D	D	D	BC	BC	BC
130									
140							D	D	D
150									
160									

б)

Строение профиля почв в севообороте в 2018 г.: а) полевой; б) овощекормовой.

Положительное значение имело возделывание в полевом севообороте многолетних и однолетних трав. На их фоне, при менее интенсивной обработке почвы, на месте переходного A₁A₂ сформировался гумусовый горизонт A₁. В условиях овощекормового севооборота с его более интенсивной обработкой почвы и системной удобрения этого не отмечали. Напротив, почвенный профиль, особенно на фоне повышенных доз минеральных удобрений, сильнее подвергался процессам элювирования, вследствие чего суммарная мощность горизонтов A₁A₂ и A₂B возрастала в 2 раза и более.

Минеральные удобрения в составе комплекса мероприятий по воспроизводству плодородия подвергшейся в прошлом деградации дерново-подзолистой почвы играли двоякую роль. С одной стороны, они способ-

ствовали большему накоплению в почве исходных гумусообразователей, чем стимулировали дерновый процесс почвообразования. С другой, становились одним из факторов усиления выветривания минералов и вертикальной миграции веществ.

Трансформация почвообразовательных процессов под влиянием мероприятий по воспроизводству почвенного плодородия выразилась разной степенью изменения агрофизических и агрохимических свойств почвы, имеющих решающее значение для эффективности земледелия. И относительно этих свойств положительные изменения также определялись в большей степени применением высоких доз органических удобрений в сочетании с поддерживающим известкованием.

Табл. 1. Агрофизическое состояние Апах в 2018 г. (среднее по типу севооборота, окультуренности почвы и системе удобрения)

Вариант	ρ_b , г/см ³	$V_{\text{общ}}$, %	НВ, %	Агрегаты 0,25...10 мм, %	$K_{\text{стр}}$	Водопрочность, %	$K_{\text{вп}}$
Полевой*	1,26±0,02	51,5±0,5	25,7±0,5	63,2±1,4	1,7	40,8±0,7	0,69
Овощекормовой*	1,30±0,01	50,1±0,4	24,2±0,5	60,8±1,1	1,5	32,7±0,7	0,49
Средняя**	1,36±0,01	48,7±0,5	21,7±0,5	48,4±0,9	0,9	23,8±0,5	0,31
Хорошая**	1,26±0,02	51,7±0,5	25,5±0,6	61,9±1,2	1,6	39,5±0,8	0,65
Высокая**	1,23±0,02	52,0±0,5	27,6±0,7	72,0±1,0	2,5	47,1±0,8	0,89
Без НРК***	1,29±0,02	50,5±0,5	24,9±0,5	60,3±1,2	1,7	36,7±0,7	0,58
НРК1***	1,27±0,01	51,1±0,3	25,2±0,6	62,8±1,2	1,8	36,8±0,8	0,58
НРК2***	1,29±0,02	50,7±0,4	24,8±0,5	62,9±1,3	1,9	36,8±0,8	0,58

*тип севооборота, **окультуренность почвы, ***вариант системы удобрения; ρ_b – плотность почвы, $V_{\text{общ}}$ – общая пористость, НВ – наименьшая влагоемкость, $K_{\text{стр}}$ – коэффициент структурности, $K_{\text{вп}}$ – коэффициент водопрочности агрономически ценных агрегатов.

К окончанию второй ротации севооборотов преимущество хорошо- и высокоокультуренной почв над среднеокультуренной (в пределах пахотного слоя) составляло по величине плотности (ρ_b) – 0,10 и 0,13 г/см³ (уменьшение), общей пористости ($V_{\text{общ}}$) – 3,0 и 3,3 %, наименьшей влагоемкости (НВ) – 3,8 и 5,9 %. Это позволило увеличить потенциальный запас доступной растениям влаги на 87 и 123 т/га соответственно (табл. 1).

Под действием окультуривания оптимизировалось и исходно неблагоприятное непрочное комковато-порочистое состояние почвы опыта. Оно в сочетании с посевом трав позволило сформировать хороший уровень оструктуренности комковато-зернистой формы при удовлетворительной водопрочности. Превосходство хорошо- и высокоокультуренной почв перед среднеокультуренной достигло: по доле агрономически ценных агрегатов – 28 и 49 %, по коэффициенту структурности ($K_{\text{стр}}$) – 78 и 178 %, по водопрочности агрегатов – 66 и 98 %, по критерию водопрочности ($K_{\text{вп}}$) – 110 и 187 % соответственно.

Дифференциация агрофизических свойств по типам севооборотов происходила, главным образом под действием двух факторов: положительного эффекта от посева трав в полевом и негативного – от интенсивной обработки почвы в овощекормовом севообороте. В результате относительный разрыв в величине показателей достиг: по плотности почвы – 6 %, по общей пористости – 3 %, по наименьшей влагоемкости – 6 %, по коэффициенту структурности – 13 %, водопрочности агрегатов – 25 % и критерию их водопрочности – 41 %.

Действие минеральных удобрений на агрофизические свойства почвы было чаще несущественным. Стимулируя рост корней и приход пожнивно-корневых остатков, они способствовали некоторому увеличению оструктуренности почвы в Апах и водопрочности агрегатов – в подпахотном слое.

Агрохимические свойства среднеокультуренной почвы на фоне отрицательного баланса органического вещества и питательных элементов значительно ухуд-

Табл. 2. Влияние средств воспроизводства плодородия на агрохимические свойства почвы

Вариант	Год	Агрохимические свойства почвы (Апах.) по севооборотам							
		полевой				овощекормовой			
		$C_{\text{орг}}$, %	P_2O_5 мг/кг	K_2O мг/кг	pH_{KCl}	$C_{\text{орг}}$, %	P_2O_5 мг/кг	K_2O мг/кг	pH_{KCl}
Среднеокультуренная почва									
–	2006	1,69±0,02	287±12	223±12	5,60±0,07	1,77±0,02	305±17	233±12	5,62±0,08
НРК 0	2018	1,40±0,02	176±14	48±4	5,18±0,07	1,39±0,02	137±10	57±4	5,16±0,07
НРК 1	2018	1,43±0,03	188±12	61±4	5,11±0,06	1,31±0,03	175±12	107±8	5,10±0,08
НРК 2	2018	1,50±0,03	185±15	68±5	5,14±0,07	1,38±0,03	222±18	126±8	5,02±0,06
Хорошо окультуренная почва									
–	2006	1,93±0,02	330±20	450±23	6,15±0,08	2,37±0,04	368±19	514±31	6,26±0,07
НРК 0	2018	1,95±0,03	352±21	179±16	6,06±0,09	2,01±0,03	413±23	194±16	5,87±0,08
НРК 1	2018	2,04±0,03	371±19	192±13	6,15±0,07	2,17±0,03	409±23	207±14	5,92±0,09
НРК 2	2018	2,06±0,03	353±22	196±11	6,02±0,09	2,15±0,03	402±20	218±16	5,90±0,09
Высокоокультуренная почва									
–	2006	2,15±0,04	420±26	630±31	6,18±0,07	2,36±0,05	447±21	810±52	6,53±0,08
НРК 0	2018	2,46±0,04	405±21	278±20	6,41±0,09	2,35±0,05	446±18	381±25	6,22±0,08
НРК 1	2018	2,57±0,05	387±21	256±25	6,32±0,08	2,41±0,05	410±17	338±20	6,14±0,07
НРК 2	2018	2,60±0,05	428±23	298±24	6,35±0,09	2,47±0,04	427±21	382±25	6,05±0,09

шились во всех вариантах опыта. В частности, величина pH_{KCl} снизилась в среднем на 0,49 ед., или по 0,041 ед. за год (табл. 2). Содержание углерода органического вещества уменьшилось на 0,33 %, подвижных соединений фосфора и калия – на 115 и 150 мг/кг. Среднегодовые потери составили 0,028 %, 9,6 и 12,5 мг/кг соответственно. Минеральные удобрения и в средних, и в повышенных дозах практически не повлияли на скорость подкисления почвы, но замедлили деградацию её фосфатного и калийного состояния.

Изменение свойств хорошо- и высокоокультуренной почв определялось степенью возмещения продуктивных и непродуктивных потерь элементов питания внесением за эти годы 75 и 150 т/га органических удобрений в сочетании (в соответствующих вариантах опыта) со средними или повышенными дозами минеральных удобрений. Естественно, что при меньшем выносе NPK и Ca культурами полевого севооборота удавалось предотвратить ухудшение агрохимических свойств и хорошо окультуренной почвы (за исключением обеспеченности калием), но в условиях овощного севооборота это оказалось невозможным по большинству показателей. Особенно значительно снижались величины pH_{KCl} (с 6,26...6,53 до 5,87...6,22 и содержания подвижного калия (с 514...810 до 194...382 мг/кг).

На среднеокультуренной почве продуктивный потенциал полевого и овощекормового севооборотов за вторую ротацию (2012–2017 гг.) оказался практически одинаковым – 24 тыс. зерн. ед./га за ротацию (табл. 3). Мероприятиями предварительного окультуривания почвы его удалось повысить на 34...47 и 65...85 % соответственно. Максимальным откликом на окультуривание почвы отзывались овощные культуры (особенно капуста белокочанная), средним – картофель, озимые зерновые и однолетние травы, минимальным – яровые зерновые и многолетние травы. В определённой степени это касается и отзывчивости на минеральные удобрения, повышение доз которых со средних до повышенных было оправданным с позиций и агрономической, и энергетической, и экономической эффективности на хорошо окультуренной почве овощекормового севооборота. В большинстве же вариантов опыта увеличения доз минеральных удобрений выше среднего уровня хотя и сопровождалось дополнительной прибавкой продук-

тивности, но несколько уменьшало их экономическую эффективность.

По величине коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации культуры полевого севооборота не уступали таковым в овощекормовом севообороте (средние по вариантам опыта величины – 2,93 и 2,88 % соответственно). Окультуривание почвы до хорошей и высокой степени позволило увеличить КПД ФАР на 26 и 48 % у культур полевого и на 64 и 83 % – овощекормового севооборота. Существенный энергетический эффект обеспечивало и применение минеральных удобрений, повысив КПД ФАР на 18...24 % в полевом и на 14...20 % – в овощекормовом севообороте.

Таким образом, ускоренное расширенное воспроизводство плодородия подвергшейся деградационному процессу прежде хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы на базе высоких доз органического удобрения и поддерживающего известкования с последующим использованием её в полевом и овощекормовом севооборотах на фоне средних и повышенных доз минеральных удобрений сопровождалось ощутимой трансформацией почвообразовательных процессов и свойств этой почвы. Основными факторами активизации гумусообразования стали увеличение прихода в почву исходных гумусообразователей в составе органических веществ навоза и возрастающего под влиянием удобрений количества пожнивно- и поукоснокорневых остатков. В то же время повышенные дозы минеральных удобрений усиливали элювиальные процессы, особенно в условиях овощекормового севооборота. За 12 лет эксперимента вследствие доведения исходной почвы до состояния хорошей и высокой окультуренности, регистрировалось улучшение агрофизических (снижение плотности почвы на 0,10 и 0,13 г/см³, повышение полевой влагоемкости на 3,8 и 5,9 %, доли агрономически ценных агрегатов – на 13,5 и 23,6 %) и агрохимических (увеличение pH_{KCl} на 0,55 и 0,58 ед., содержания углерода органического вещества на 0,42 и 0,52 %, подвижных соединений фосфора и калия – на 53 и 138 и 254 и 492 мг/кг) свойств агродерново-подзолистой почвы.

В конечном счёте это окупалось значительным повышением продуктивности севооборотов (на 34...85 % от окультуривания почвы и на 52...107 % – от его сочетания с полным минеральным удобрением) при

Табл. 3. Эффективность средств воспроизводства плодородия почвы в условиях полевого и овощекормового севооборотов

Вариант		Полевой севооборот			Овощекормовой севооборот		
ОП* (фактор А)	МСУ** (фактор В)	продуктивность, тыс. зерн.ед./га	КПД ФАР, %	рентабель- ность, %	продуктивность, тыс. зерн.ед./га	КПД ФАР, %	рентабель- ность, %
Средняя	НРК 0	24,05	2,04	–	24,42	1,74	–
	НРК 1	33,62	2,84	232	31,30	2,21	183
	НРК 2	36,38	3,06	186	31,76	2,26	92
Хорошая	НРК 0	32,20	2,74	–	40,41	2,85	–
	НРК 1	36,67	3,06	174	45,27	3,20	228
	НРК 2	39,67	3,32	142	48,96	3,47	284
Высокая	НРК 0	35,39	3,01	–	45,27	3,19	–
	НРК 1	39,54	3,34	85	48,95	3,46	224
	НРК 2	41,83	3,54	109	50,67	3,57	193
НСР ₀₅ фактор А		2,22			2,97		
фактор В		2,84			3,80		

*окультуренность почвы
**минеральная система удобрения

высокой энергетической и экономической эффективности. Но сохранение искусственно сформированного уровня плодородия хорошо и высокоокультуренных почв связано со значительными затратами на формирование бездефицитного баланса органического вещества и питательных элементов. В условиях овощекормового севооборота даже при среднегодовом внесении на 1 га хорошо окультуренной почвы 6,3 т органических и 205... 310 кг д.в. минеральных удобрений стабилизировались только подвижные фосфаты, а высокоокультуренной – 12,5 т органических и 205...310 кг д.в. минеральных удобрений – только органическое вещество почвы. В зоне особенного внимания у этих почв по-прежнему должны оставаться параметры их кислотно-основного и калийного состояния.

Литература

1. *Научные основы и технология использования удобрений и извести* / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина, Л. В. Яковлева и др. / под ред. акад. РАСХН Семенова В. А. СПб.: Изд. СпбГУ, 1997. 52 с.
2. Ivanov A. I., Ivanova Z. A., Konashekov A. A. *Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems: Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes* // Springer Nature Switzerland AG, 2021. Chapter 15. P. 349–372.
3. *Активность микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в различных агроэкосистемах* / Н. С. Матюк, В. Д. Полин, В. А. Шевченко и др. // *Плодородие*. 2020. № 2 (113). С. 61–64.
4. Иванов И. А., Иванов А. И., Цыганова Н. А. *Изменение свойств подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании* // *Почвоведение*. 2004. № 4. С. 489–499.
5. Шевченко В. А., Соловьев А. М., Попова Н. П. *Теоретические и практические аспекты влияния разнотравных приемов обработки почвы и севооборотов, в том числе биологизированных, на показатели почвенного плодородия мелиорированных земель Нечерноземной зоны*. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. 182 с.
6. Сычев В. Г. *Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на основные показатели различных типов почв* // *Плодородие*. 2021. № 4 (121). С. 3–5.
7. Шафран С. А. *Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны* // *Агрохимия*. 2016. № 8. С. 3–10.
8. Сычёв В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. *Плодородие почв России и пути его регулирования* // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
9. Кирейчева Л. В., Шевченко В. А. *Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв* // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 2. С. 12–16.
10. Соколов И. В. *Освоение запущенных земель в Ленинградской области: проблема не одна* // *Агрофизика*. 2020. № 2. С. 27–33.
11. Литвинович А. В., Лаврицев А. В., Буре В. М. *Агрогенная эволюция дерново-подзолистой глееватой глинистой почвы (Albic Retisols) с регулируемым водно-воздушным режимом* // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 13–26.
12. Шевченко В. А. *Современное состояние выбывших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения*. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2021. 410 с.
13. *Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года (версия 2.0)* / Отв. ред. С. Г. Митин, А. Л. Иванов. М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 2021. 400 с.
14. *Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья* / А. И. Иванов, А. А. Вязовский, А. А. Кошаченков и др. // *Агрохимический вестник*. 2019. № 6. С. 3–9.
15. Сычев В. Г., Никитина Л. В. *Калийный режим суглинистых дерново-подзолистых почв* // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 2 (26). С. 233–243.
16. Бородычев В. В., Шевченко В. А., Соловьев А. М. *Динамика содержания обменного калия при освоении залежных земель в зависимости от системы удобрения и предшественников* // *Плодородие*. 2021. № 3 (120). С. 84–88.
17. Кирюшин В. И. *Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования* // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т.30. № 3. С. 19–25.
18. Кирюшин В. И. *Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия* // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1130–1139.
19. *Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов географической сети России* / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин, Л. К. Шевцова и др. // *Почвоведение*. 2020. № 12. С. 1521–1536.
20. *Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помета* / под общ. ред. А. И. Иванова и В. В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.
21. Дубенок Н. Н., Шевченко В. А., Соловьев А. М. *Использование органических отходов животноводческих комплексов при восстановлении плодородия малопродуктивных земель Нечерноземной зоны* // *Плодородие*. 2021. № 3 (120). С. 99–103.
22. Кирюшин В. И. *Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия* // *Земледелие*. 2019. № 3. С. 3–7.
23. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. *Методы исследования физических свойств почв*. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
24. *Практикум по агрохимии* / под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. М.: Изд. МГУ, 2001. 689 с.
25. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. *Практикум по почвоведению*. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.

Поступила в редакцию 31.05.2022
После доработки 06.07.2022
Принята к публикации 29.08.2022