

ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И СОЗДАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ АГРОБИОЦЕНОЗОВ

УДК 631.582: 631.821:631.153

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОБИОЦЕНОЗОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОКУЛЬТУРИВАНИИ

Длительному полевому стационарному опыту 110 лет
Итоги научных исследований

Матюк Николай Сергеевич, д.с-х.н. профессор кафедры земледелия и методики опытного дела, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный

университет -МСХА им. К.А. Тимирязева

Мазиров Михаил Арнольдович, д.б.н., профессор кафедры земледелия и методики опытного дела, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный

университет -МСХА им. К.А. Тимирязева

Полин Валерий Дмитриевич, к.с-х.н., доцент кафедры земледелия и методики опытного дела, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный

университет - МСХА им. К.А. Тимирязева

Савоськина Ольга Алексеевна, д. с-х. н. профессор кафедры земледелия и методики опытного дела, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный

университет -МСХА им. К.А. Тимирязева

Беленков Алексей Иванович, д. с-х. н. профессор кафедры земледелия и методики опытного дела, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный

университет - МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация: Пахотные дерново-подзолистые почвы по своей природе характеризуются многими свойствами, унаследованными от исходных целинных и частью приобретенных в процессе современного почвообразования под влиянием факторов интенсификации разной степени интенсивности. В пахотных почвах существенно изменяется гидротермические условия, биологический круговорот элементов питания, что связано со значительным их отчуждением с урожаем и возвратом с минеральными и органическими удобрениями. Длительное (110 лет) применение одно-, двухкомпонентных и полного минерального удобрения, а также сочетание его с навозом и периодическим известкованием, как при бессменном возделывании полевых культур, так и в севообороте изменяет исходный уровень плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивность агробиоценозов. Применение минеральных удобрений в

дозе $N_{100}P_{150}K_{120}$ в сочетании с навозом (20 т/га) обеспечивает устойчивую урожайность озимых зерновых на уровне 4,5-5,5 т/га зерна, картофеля - 20-25 т/га и 6-8 т/га сена многолетних трав при снижении степени деградации почвы до экологических нормативов.

Ключевые слова: длительный опыт, севооборот, органический углерод и гумус, подвижный фосфор, обменный калий, бал плодородия, продуктивность агробиоценозов.

Введение. Полевой эксперимент является наиболее универсальным и репрезентативным методом тестирования новых идей и концепций научной агрономии на пути их практической оценки в условиях производства. Ценность результатов научных исследований, получаемых в полевом опыте, возрастает по мере его длительности, с приближением земельного участка к устойчивому экофитоценоотическому равновесию. В этой связи международную значимость имеют лишь длительные опыты.

Длительными считают полевые стационарные опыты, продолжительностью не менее 20 лет, а стационары продолжительностью более 50 лет называют классическими или сверхдлительными. В компьютерной директории ФАО зарегистрировано около 300 наиболее известных полевых стационаров. [1]. Среди них выделяются опыты Ротамстеда (Англия), заложенные в 1843-1856 гг. Часть из них была закрыта по истечению нескольких десятков лет, другие почти достигли или успели перешагнуть 100-летний юбилей. Наибольший интерес из оставшихся полевых опытов представляет 160-летняя "Бессменная пшеница" в Бродболке. Широко известны "Вечная культура ржи" в Галле с 1878 г. (Германия), опыт с удобрениями в Гриньоне с 1875 г. (Франция), Moggow plots с 1876 (Иллинойс, США), Ascow - опыты с 1894 г. (Дания), а также Длительный опыт РГАУ - МСХА имени К.А.Тимирязева или «Московский стационар», согласно международному каталогу длительных опытов с 1912 г. [2, 3,]. Среди ныне действующих лишь 13 стационаров продолжают более 100 лет (табл. 1).

Таблица 1. Наиболее известные длительные полевые стационары мира [1]

Место проведения опыта	Страна	Год закладки
Ротамстед (Rothamsted)	Англия	1843
Гриньон (Grignon)	Франция	1875
Иллинойс (Illinois)	США	1876
Галле (Halle)	Германия	1878
Коламбия (Columbia)	США	1888
Дакота (Dakota)	США	1892
Асков (Ascow)	Дания	1894
Обурн (Auburn)	США	1896
Бад Лаухштадт (Bad Lauchstadt)	Германия	1902
Дикопсхоф (Dikopshof)	Германия	1904
Саскачеван (Saskatchewan)	Канада	1911
Москва (ТСХА)	Россия	1912

Условия и методика проведения исследований. Длительный опыт был заложен в 1912 году заведующим полевой опытной станции и кафедры земледелия Петровской (ныне РГАУ –МСХА имени К.А.Тимирязева) профессором А.Г. Дояренко по инициативе академика Д. Н. Прянишникова на земельном участке, который прежде входил в кормовой (прифермский) севооборот, где в 10 предшествующих лет не применяли минеральные удобрения и лишь в 1909 году внесли 35 т/га навоза. С 1906 по 1911 годы возделывали следующие культуры: *клевер 1 г.п. - клевер 2 г.п. - овес - пар черный - озимая рожь с подсевом клевера - клевер 1 г.п.* В 1912 году перед посевом яровых культур участок разделили на 2 части. На первой нарезали 6 вытянутых полей: 121, 122, 123, 124, 125 и 126 площадью по 1400 м². 121 поле оставили под черным паром, а на остальных 5 полях стали высевать бессменно, соответственно озимую рожь, картофель, овес, клевер и лен. На другой части развернули 6-польный севооборот со следующей схемой чередования: *пар черный - озимая рожь - картофель - овес с подсевом клевера - клевер 1 г.п. - лен.* Поля севооборота: 131, 132, 133, 134, 135. и 136, площадью 1200 м², явились естественным продолжением соответствующих полей монокультур. В 1-ый год каждой ротации (раз в 6 лет) на симметричных полях высевают одинаковые культуры.

Поперек 6-ти полей бессменных культур наложили 11 вариантов удобрений: *1- N; 2 - P; 3 - K; 4 - O (без удобрений); 5 - NP; 6 - NK; 7 - PK; 8 - NPK + навоз; 9-NPK; 10- навоз и 11-O (без удобрений).* Аналогичные варианты, за исключением 10-ого и 11-ого, наложили поперек полей севооборота, который явился "зеркальным" отражением первых девяти вариантов монокультур. Учетная площадь делянок составила 100 м².

За 110-летний период функционирования опыта с учетом темпов развития химизации сельского хозяйства в схему было внесено ряд изменений [9]:

- в 1949 году введен третий вариант опыта (известкование), а также на известкованной половине бессменного черного пара, где отмечали сильную деградацию почвы, начал осваиваться севооборот во времени с тем же чередованием культур с целью оценки их роли в восстановлении плодородия, а овес, сильно повреждающийся птицами, заменен на ячмень;

- с учетом обеспечения сельского хозяйства минеральными удобрениями и мелиорантами увеличивались и дозы их внесения (табл. 2). Первая доза известки составила 4,57 т/га доломитизированного известняка (83% Са, MgCO₃). Последующие дозы рассчитывались на основе гидролитической кислотности почвы и составили (год - доза): 1954 – 4,5; 1960 - 1; 1966 - 2; 1973 - 3; 1978 – 2; 1984 – 3; 1990 - 2 и 1996 – 3; 2002 – 2,8; 2008 – 2,4 т/га, 2014 – 2,4 и 2020 – 2,4 т/га

- в 1973 году по инициативе проф. Б.А.Доспехова на половине четких полей севооборотного участка с разным уровнем плодородия, созданного за предшествующие годы функционирования опыта стали применять сплошное внесение минеральных удобрений в дозе N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀ с целью их влияния на скорость восстановления и выравнивания плодородия почвы по

делянкам с дробным внесением разных доз и видов удобрений в предшествующие 60 лет [5].

Перед закладкой опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая почва характеризуется следующими агрохимическими показателями плодородия: содержание гумуса – 2,06%, подвижного фосфора P_2O_5 – 50, обменного калия K_2O – 60 мг / кг почвы, $pH_{\text{сол}}$ – 4,5, Нг – 5,8 мг-экв./100г почвы [7].

Таблица 2. Система удобрений по периодам функционирования длительного опыта РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева [6]

Варианты опыта	N	P_2O_5	K_2O	Навоз, т/га	Общее количество				
					кг/га			т/га	
					N	P_2O_5	K_2O	навоз	известь
1 период 1912-1938	7,5	15	22,5	18	195	390	585	486	0
2 период 1949-1954	75	60	90	20	1200	960	1450	320	9
3 период 1955-1972	50	75	60	10	900	1350	1080	180	3
4 период 1973-2022	100	150	120	20	4800	7200	5760	960	23
Всего за 1912-2022	-	-	-	-	7095	9900	8875	1946	35
В среднем за один год	-	-	-	-	64,5	90,0	80,7	17,7	3,2

Агротехника возделывания полевых культур в опыте соответствует традиционной технологии для ЦРНЗ, основанной на ежегодной вспашке на глубину 20-22 см. Фосфорно-калийные и органические удобрения вносили осенью, азотные весной под предпосевную культивацию.

Результаты исследований и обсуждение. Ценность результатов научного исследования пропорциональна длительности стационара, и возрастает по мере приближения опытного участка к устойчивому квазиравновесному состоянию. В длительном полевом опыте происходит компенсация части отклонений в действии и взаимодействии изучаемых и не изучаемых, но контролируемых факторов, что уравнивает базисный фон для всех вариантов опыта. В условиях длительного стационара аккумулируется во времени действие, взаимодействие и последствие агротехнических приемов на фоне изменения факторов окружающей среды, что позволяет решать проблемы земледелия и экологии, специфические для конкретной почвенно-климатической зоны. Длительные стационары позволяют проводить мониторинг гумуса, содержания и круговорота питательных веществ, в том числе и микроэлементов, а также динамику загрязненности почвы тяжелыми металлами, другими токсигенами и вредными для биосферы и человека веществами. Действие многих

биологических и технологических факторов на плодородие почвы продуктивность растений становится очевидным лишь по истечении десятков лет [3].

Систематическое применение органических и минеральных удобрений, а также периодическое известкование, остаются наиболее эффективным средством химической мелиорации дерново-подзолистой почвы и предпосылкой повышения производительности пашни. Эффективность мелиоративных приемов обусловлена различными факторами: исходными свойствами почвы, видами, дозами и сочетаниями удобрений, а также особенностями возделываемых культур. За 110 лет полевого стационара каждая из 240 делянок получила разный уровень антропогенных энергетических субсидий, что обусловило различия между вариантами в степени гумусированности и содержанию питательных веществ в пахотном слое почвы, которые между отдельными вариантами достигали многократных размеров.

Теоретической основой установления критического уровня содержания органического углерода с учетом гранулометрического состава почвы является динамика изменения его содержания и запасов в чистом пару без внесения удобрений в течение длительного (более 100 лет) периода [4].

Наши исследования показали, что при длительном (110 лет) паровании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы изменения содержания и запасов органического углерода имеют устойчивый тренд к их снижению, причем скорость ежегодных потерь определяется дозами вносимых минеральных и органических удобрений. Наибольшие потери углерода отмечались в вариантах без удобрений, где его содержание в первые 10 лет после закладки опыта уменьшилось на 37,5% по сравнению с исходным состоянием (1,20%). В последующие десятилетия темпы минерализации органического вещества в чистом пару замедлялись, что связано с достижением почвой уровня квазиравновесного содержания углерода (0,48-0,52%), обеспеченного легкосуглинистым гранулометрическим составом данного типа почвы.

Внесение полного минерального удобрения (NPK) замедляло темпы распада углерода почвы и его содержание находилось на уровне 0,81-0,89%. Ежегодное, в среднем за 110 лет внесение 17,7 т/га навоза обеспечивало уравновешенный или положительный баланс углерода в чистом пару с сезонными колебаниями в пределах 1,21-1,27%.

Необходимо отметить, что в период глобального потепления климата независимо от фона питания возросли потери углерода, что связано с развитием эрозионных процессов, как в поле чистого пара, так и смежных в горизонтальной плоскости делянках севооборота (рис.1).

В естественных биоценозах многолетней залежи наблюдалась устойчивая тенденция сохранения положительного баланса углерода, увеличение содержания которого через 110 лет составило 0,11% или 3,3 т/га.

Потери органического вещества на фонах постоянного применения азотных, а также фосфорно-калийных удобрений, вызывающих подкисление

почвенного раствора, а, следовательно, ускоряющего минерализацию органического вещества, за первые 6 ротаций с момента определения составили 36,8 и 34,7 т/га соответственно.

Наименьшие потери углерода отмечали в вариантах совместного внесения NPK и навоза, которые составили 26,6 т/га (рис. 2).

В последние 50 лет темпы разложения органического вещества в чистом пару резко замедлились, особенно в вариантах без удобрений, где его содержание достигло квазиравновесного состояния, обеспеченного сбалансированностью процессов накопления и минерализации. Повышение норм внесения навоза с 10 т/га (1939-1972 гг.) до 20 т/га (1973-2022 гг.) сократило потери органического вещества более чем в 2 раза.

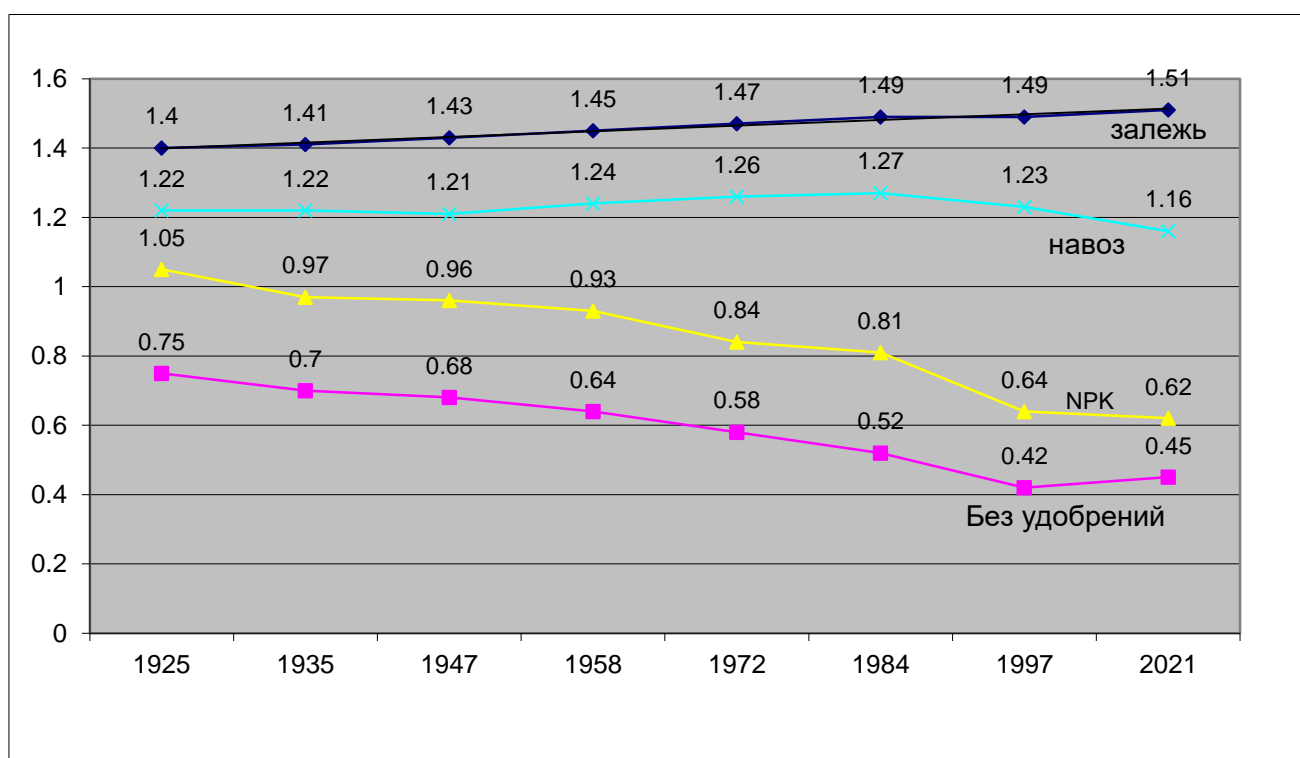


Рис. 1. Изменение содержания органического углерода (C_{org} , %) в бессменном пару на разных фонах удобрений и прилегающей многолетней залежи

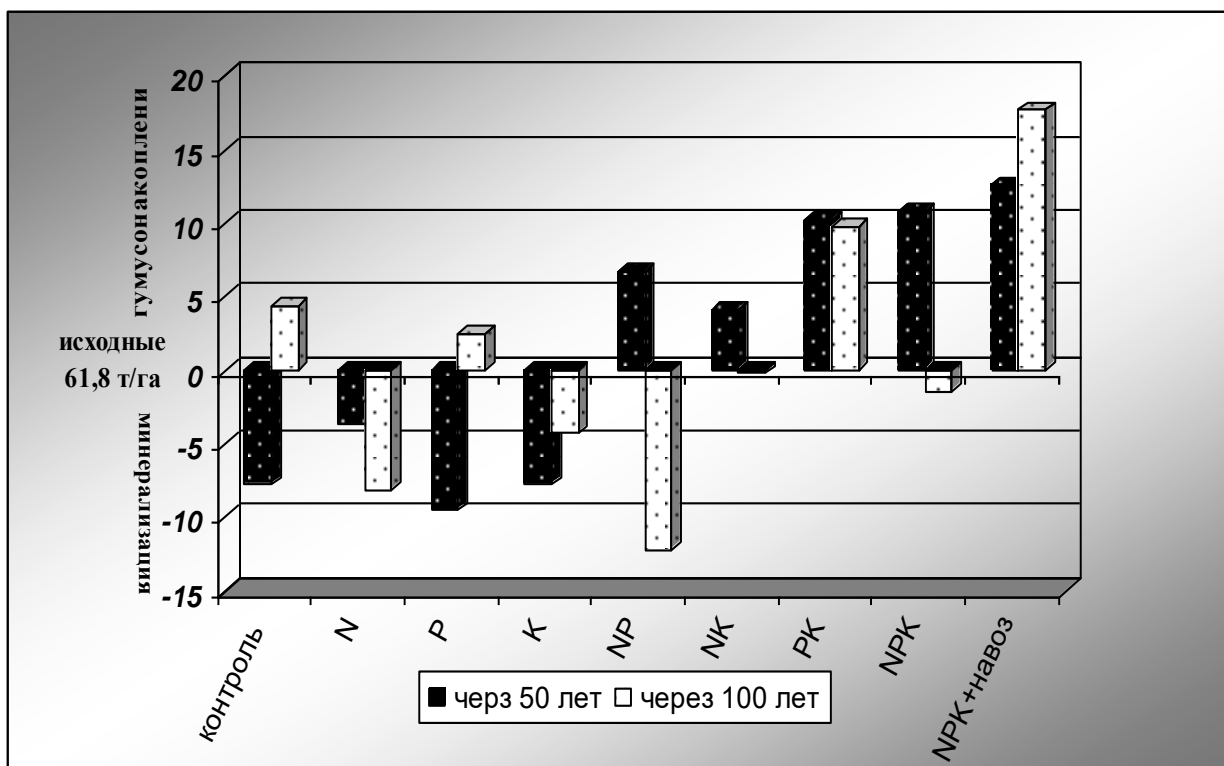


Рис. 2. Роль фона питания в изменении направленности биохимических процессов превращения органического вещества в севообороте, т/га

Таким образом, изменение направленности и скорости трансформации органического вещества определяется видами внесения минеральных удобрений (N, P, K), их способностью изменять состояния среды обитания почвенных микроорганизмов и скоростью их реакции на эти изменения.

Возделываемые полевые культуры - важнейший фактор динамики изменения содержания гумуса, поскольку их пожнивно-корневые остатки являются одним из основных источников поступления в почву органического вещества. Растительные остатки, а также основная и побочная продукция урожая, частично используемые в животноводстве и возвращающиеся в почву в виде органических удобрений, сужают замкнутость цикла круговорота органических веществ и потока энергии в конкретном агробиоценозе.

Различные формы минеральных удобрений как внесенных отдельно (N, P, K), так и в различных сочетаниях определяют не только уровень урожайности возделываемых культур, но и массу растительных остатков, поступающих в почву после их уборки (табл. 3).

При бессменном возделывании озимой ржи решающим фактором в накопление растительных остатков являлась обеспеченность растений питательными элементами. Их масса колебалась от 2,64 в вариантах без удобрений до 3,38 т/га сухого вещества на делянках с совместным внесением $N_{100}P_{150}K_{120}$ и 20 т/га навоза.

Возделывание озимой ржи в севообороте уменьшало накопление растительных остатков на 0,2-0,6 т/га в зависимости от фона питания за счет ускорения минерализации их в чистом пару и под картофелем.

Таблица 3. Влияние фона питания и чередования культур на накопление растительных остатков (т/га сухого вещества), в среднем за ротацию

Вариант удобрений	Оз. рожь бессменн о	В севообороте					В среднем за ротацию
		Оз. рожь	картофель	ячмень	клевер	лен	
Без удобрений	2,64	2,85	1,44	1,29	4,22	0,82	1,77
N	3,05	2,91	1,56	1,59	4,64	0,65	1,89
P	2,60	3,14	1,66	1,49	4,42	0,74	1,91
K	2,61	3,09	2,08	1,56	4,49	0,58	1,97
NP	3,16	3,58	1,72	1,56	4,25	0,78	1,98
NK	3,11	3,47	2,48	1,57	4,40	0,79	2,12
PK	2,91	3,58	2,64	1,92	4,59	0,80	2,26
NPK	3,35	3,33	2,94	2,37	4,59	1,20	2,24
NPK + навоз	3,38	3,70	2,96	2,37	4,52	1,12	2,96
В среднем по удобрени ям	2,99±0,3	3,30±0,3	2,05±0,5	1,75±0,4	4,46±0,1	0,83±0,2	X

Из изучаемых в севообороте культур наименьшее количество растительных остатков оставлял после уборки лен (0,43-1,18 т/га), а наибольшее - клевер одного года использования (4,22-4,64 т/га).

Таким образом, применяемые в опыте удобрения в различном сочетании по влиянию на накопление растительных остатков можно расположить в следующей убывающей последовательности: NPK+навоз > NPK > NP > NK, PK > N > P > K > без удобрений, а возделываемые культуры - клевер > озимая рожь > картофель > ячмень > лен.

Длительное (100 лет) бессменное возделывание полевых культур на фоне без удобрений позволяет вычленить положительную роль отдельных растений из разных биологических групп (зерновые, пропашные, кормовые) в изменении запасов гумуса в пахотном слое дерново-подзолистых почв по сравнению с многолетней залежью и чистым паром (рис. 3).

Нашими исследованиями установлено, что по сравнению с вечным паром под культурами, возделываемыми в опыте, значительно выше содержание и соответственно запасы гумуса, которые коррелировали с массой растительных остатков, оставляемых ими после уборки.

Анализ динамики изменения запасов гумуса показал, что из зерновых культур при длительном бессменном выращивании, озимая рожь обеспечивала увеличение запасов органического вещества в почве до 65,5

т/га, что выше на 3,5 т/га по сравнению с исходными (61,8 т/га), то есть ее возделывание обеспечивало расширенное воспроизводство плодородия.

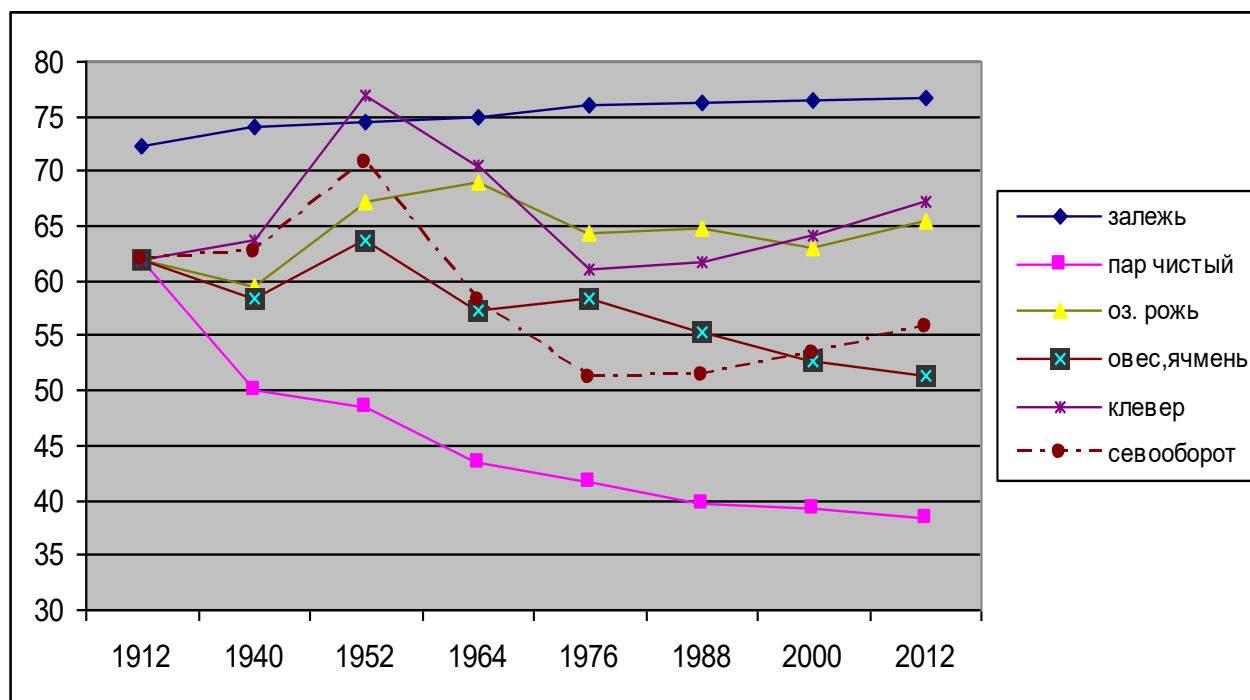


Рис. 3. Роль бессменных посевов полевых культур и севооборота в изменении запасов гумуса в пахотном слое почвы на фоне без удобрений, т/га

Длительные бессменные посева яровых зерновых культур (овес, ячмень), которые оставляют в почве значительно меньшее количество растительных остатков, обеспечивало поддержание запасов органического вещества на уровне 51 т/га, что ниже исходного на 10,8 т/га. Наибольшее влияние на увеличение запасов гумуса оказывало выращивание клевера, которое за первое 50-летие составило 8,5 т/га, а за второе 5,2 т/га.

В севообороте, где культуры сплошного сева чередуются с пропашными и полем чистого пара скорость превращения органических остатков, имеющих разный химический состав, замедляется и запасы органического вещества стабилизируются в последние две ротации на уровне 54-58 т/га. В результате исследований установлена сильная корреляционная связь ($R^2=0,989$) между количеством растительных остатков и содержанием гумуса.

Длительное воздействие на почвенный покров легкосуглинистых дерново-подзолистых почв технологическими приемами разной интенсивности вызывает изменение их морфологических признаков, запасов гумуса не только пахотного, но и нижележащих горизонтов по сравнению с их естественными аналогами [8].

Установлено, что вовлечение залежных земель в интенсивный сельскохозяйственный оборот при экстенсивном способе использования пашни (чистый пар, без удобрений) снижает запасы гумуса во всех слоях метровой части почвенного профиля: в пахотном на 23,0 т/га,

корнеобитаемом слое (0-30 см) - на 17,6 т/га, в слое 0-50 см - 20,7 т/га, а в слое 0-100 см эти различия достигают 41,7 т/га по сравнению с их запасами под многолетней залежью (табл. 4).

При бессменном выращивании картофеля на фоне длительного внесения полного минерального удобрения в сочетании с навозом (N₆₅P₉₀K₈₀+H₁₇) ежегодно отмечается по сравнению с естественными аналогами незначительное (3,0 т/га) снижение запасов гумуса лишь в пахотном слое почвы при увеличении их на 11-16% в нижележащих горизонтах.

Наибольший эффект в увеличении запасов органического вещества оказывает возделывание культур из разных биологических групп в севообороте, что обусловлено изменением направленности превращения органического вещества, поступающего после уборки, в сторону гумусонакопления.

При бессменном выращивании картофеля на фоне длительного внесения полного минерального удобрения в сочетании с навозом (N₆₅P₉₀K₈₀+H₁₇) ежегодно отмечается по сравнению с естественными аналогами незначительное (3,0 т/га) снижение запасов гумуса лишь в пахотном слое почвы при увеличении их на 11-16% в нижележащих горизонтах. Наибольший эффект в увеличении запасов органического вещества во всех изучаемых слоях почвенного профиля оказывает возделывание культур из разных биологических групп в севообороте, что обусловлено изменением направленности превращения органического вещества, поступающего после их уборки, в сторону гумусонакопления.

Другими важными показателями степени окультуренности почвы является содержание и запасы подвижного фосфора (P₂O₅) и обменного калия (K₂O) – [8]. Наши исследования показали, что запасы подвижного фосфора в пахотном слое почвы по 50-летним циклам функционирования «Московского стационара» носило устойчивый характер его накопления не зависимо от способа использования земель.

Таблица 4. Изменение запасов гумуса (т/га, %) по слоям верхней части почвенного профиля при разной интенсивности использования пашни, 2022г.

Варианты	Слой почвы, см			
	0-20	0-30	0-50	0-100
Многолетняя залежь (контроль)	<u>59,6</u> 100	<u>70,8</u> 100	<u>94,2</u> 100	<u>143,1</u> 100
Чистый пар, б/у	<u>36,6</u> 72,4	<u>53,2</u> 74,8	<u>73,5</u> 78,0	<u>101,4</u> 70,8
Картофель бессменно, НРК+Навоз	<u>56,2</u> 94,3	<u>76,2</u> 107,6	<u>107,6</u> 114,2	<u>158,0</u> 110,4
Озимая рожь бессменно, НРК+Навоз	<u>66,7</u> 111,9	<u>82,7</u> 116,8	<u>108,8</u> 115,5	<u>159,2</u> 111,3

Севооборот, NPK+Навоз	$\frac{79,8}{133,9}$	$\frac{103,4}{146,0}$	$\frac{140,1}{148,7}$	$\frac{197,3}{137,9}$
--------------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Примечание: числитель – запасы гумуса, т/га, знаменатель - % к многолетней залежи

Увеличение его запасов четко коррелировало не только с дозами внесения минеральных и органических удобрений, но и с количеством растительных остатков, поступающих в почву после уборки полевых культур. Так, в почве многолетней залежи при естественном фоне питания, где его запасы формировались лишь за счет ежегодного отмирания надземной части и корневой системы дикорастущих многолетних трав, отмечали наименьший прирост, который составил 0,13 т/га за первое 50-летие и 0,30 т/га за второе 60-летие, а за 110 лет запасы подвижного фосфора возросли лишь на 0,48 т/га (табл.5).

Таблица 5. Изменение запасов подвижного фосфора (P_2O_5 , т/га) при разном способе использования пашни и среднегодовых нормах удобрений

Способ использования земель	Запасы по срокам определения, т/га			Изменение, т/га		
	Исходные, 1912 г.	1962 г. *	2022 г. **	1912-1962 гг.	1963-2022 гг.	1912-2022 гг.
Мног. залежь	1,50	0,279	0,576	0,129	0,297	0,426
Севооборот		0,267	0,768	0,117	0,501	0,618
Бессменно: чистый пар		0,450	0,936	0,300	0,485	0,785
Озимая рожь		0,546	1,05	0,396	0,504	0,900
Картофель		0,441	0,840	0,291	0,399	0,690
Овёс, ячмень		0,403	0,996	0,253	0,593	0,846
Клевер		0,488	0,809	0,333	0,403	0,736
Лён		0,402	0,891	0,252	0,485	0,737

Среднегодовые дозы : * 1912-1962 гг. – $N_{36}P_{44}K_{51}$, навоз 16 т/га;

** 1963-2022 гг. – $N_{100}P_{150}K_{120}$, навоз 20 т/га

Возделывание полевых культур с различной потребностью в фосфоре в 6-польном плодосменном севообороте при низких дозах удобрений ($N_{36}P_{44}K_{51}$) в первые 50 лет функционирования полевого опыта обеспечивало увеличение запасов подвижного фосфора до уровня многолетней залежи, а при высоких ($N_{100}P_{150}K_{120}$) в последующие 60 лет - его запасы увеличились на 0,384 т/га по сравнению с первым пятидесятилетием.

Внесение удобрений в чистом пару без выращивания растений привело к увеличению запасов подвижного фосфора, которое составило за 50-летний период 0,30 т/га, а за 110-летний – 0,786 т/га, что связано с его малой подвижностью и отсутствием выноса.

Наибольшее влияние на стабилизацию фосфатного режима почвы из полевых культур оказывали озимые и яровые зерновые, а наименьшее – посеvy клевера, картофеля и льна-долгунца.

Содержание обменного калия, как более подвижного, и легко трансформируемого в различные формы элемента питания, при низких дозах удобрений в основном зависело от потребности полевых культур в нем. Так, в почве под бессменным картофелем, клевером и льном в первые 50 лет функционирования опыта при низких дозах внесения удобрений количество

водорастворимого и обменнопоглощенного калия было минимальным из-за высокой потребности этих культур в данном элементе питания (табл. 6). Удвоение доз внесения удобрений во второе 60-летие не привели к заметному росту содержания обменного калия в агробиоценозах по сравнению с многолетней залежью.

В чистом пару также отмечали накопительный эффект от внесения калийных удобрений, где его содержание увеличилось за 110 лет в 4,8 раза. Отдельное внесение азотных и фосфорных удобрений практически не изменило содержание обменного калия в бессменных посевах и оно находилось на низком уровне.

Таблица 6. Действие длительного окультуривания на содержание обменного калия (K_2O мг/кг почвы) при разных среднегодовых нормах удобрений и мелиорантов

Способ использования земель	Содержание, мг/кг			Изменение, мг/кг		
	Исходное, 1912 г.	1962 г. *	2022 г. **	1912-1962 гг.	1963-2022 гг.	1912-2022гг.
Мног. залежь	60	133	273	73	140	213
Севооборот		91	135	31	44	75
Бессменно: чистый пар		134	290	74	156	230
Озимая рожь		133	258	73	125	198
Картофель		86	142	26	56	82
Овёс, ячмень		125	305	65	180	245
Клевер		78	185	18	107	125
Лён		102	167	42	65	107

Среднегодовые дозы: * 1912-1962 гг. – $N_{36}P_{44}K_{51}$, навоз 16 т/га;

** 1963-2022 гг. – $N_{100}P_{150}K_{120}$, навоз 20 т/га

Из изучаемых в опыте агробиоценозов наиболее высокое (250-300 мг/кг почвы) содержание обменного калия обеспечивало бессменное выращивание озимых и яровых зерновых культур, а наименьшее – отмечали в плодосменном севообороте (135 мг/кг), а также под картофелем (142 мг/кг) и льном (167 мг/кг) почвы.

Комплексным показателем оценки плодородия почв, интенсивно используемым в сельскохозяйственном производстве, служит агрохимический балл плодородия [5,8], учитывающий изменения содержания органического вещества, элементов питания и ионно-обменных свойств почвы под действием различных факторов интенсификации.

За 110-летний период при бессменном выращивании, из изучаемых в опыте культур наиболее положительное влияние на плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы оказывали озимая рожь и клевер, далее яровые зерновые, а лён и картофель обуславливают его снижение (рис. 4).

Обобщение и анализ полученных данных показал, что перед закладкой опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая почва характеризовалась слабой степенью окультуренности (20-30 баллов).

БЕССМЕННО

	Пар Без извести												121
	севооборот во времени												
	Без извести Рожь												122
	По извести												
	Без извести Картофель												123
	По извести												
	Без извести Ячмень												124
	По извести												
	Без извести Клевер												125
	По извести												
	Без извести Лен												126
	По извести												
Исходное Плодородие в 1912 г.	культуры	N	P	K	0	NP	NK	PK	NPK навоз	NPK	навоз	№ поля	
	Без извести Севооборот												
	По извести												

■ –слабоокультуренные, 20-30;
 ■ - среднеокультуренные, 31-50;
■ - хорошоокультуренные, 51-70;
 ■- сильноокультуренные, более 70

Рис. 4. Картограмма окультуренности пахотного слоя почвы при длительном (110 лет) воздействии природных и антропогенных факторов, 1912 – 2022 гг.

Через 110 лет после закладки опыта под действием возделываемых культур, минеральных, органических удобрений и извести изучаемые варианты распределились по степени окультуренности следующим образом: слабоокультуренные – 16%, среднеокультуренные – 50%, хорошоокультуренные – 25% и сильноокультуренные – 11%.

Оценивая влияние отдельных элементов питания и их сочетаний на агрохимический балл плодородия необходимо отметить, что при внесении только азотных удобрений плодородие почвы снижается по сравнению с исходным, особенно при бессменном выращивании картофеля и яровых зерновых. Действие фосфорных, калийных и азотно-калийных удобрений было близким к варианту без удобрений.

БЕССМЕННО

Пар Без извести													121
севооборот во времени													

Без извести Рожь По извести												122
Без извести Картофель По извести												123
Без извести Ячмень По извести												124
Без извести Клевер По извести												125
Без извести Лен По извести												126
культуры	N	P	K	0		NP	NK	PK	NPK навоз	NPK	навоз	№ поля
Без извести Севооборот По извести												

■ – низкая, 10-30; ■ - средняя, 31-50; ■ - высокая, 51-70; ■ - очень высокая, более 70

Рис. 5. Влияние приемов окультуривания на продуктивность полевых культур (мДж/га), 1973-2022 гг.

Действие фосфорных, калийных и азотно-калийных удобрений было близким к варианту без удобрений. Внесение полного минерального удобрения и его сочетания с навозом обеспечивало формирование хорошо- (60,7) и сильно - (21,5%) окультуренных почв, а интенсивно обрабатываемые варианты опыта (чистый пар и картофель) сохранили плодородия на исходном уровне (17,8%).

Оценка продуктивности возделываемых культур в энергетических эквивалентах основной и побочной продукции дозами по делянкам опыта с различным уровнем плодородия показала, что эффективность его использования определялась способом размещения культур (бессменно, севооборот), видами (минеральные, органические), формами (азотные, калийные, фосфорные) удобрений и их дозами (рис. 5).

Исследования показали, что потенциал отдельных культур в большей степени реализовывался в севооборотах, где выход энергии составлял 45-47 тыс. МДж/га, чем при их бессменном выращивании на одном поле более 100

лет (24-36 тыс. МДж/га). При этом наименьшая продуктивность отмечена при выращивании яровых зерновых (24,4), а наиболее высокая – на делянках бессменного клевера (56,8 тыс. МДж/га).

Из изучаемых вариантов удобрений наиболее эффективным в повышении продуктивности полевых культур было внесение полной дозы минеральных удобрений в сочетании с навозом.

В вариантах без удобрений, а также при внесении отдельных элементов питания (N, P, K) и их парных сочетаний продуктивность возделываемых культур снижалась в среднем на 23-33%, а на фоне NPK – на 10,2% по сравнению с вариантом NPK+N.

Выводы

Длительное систематическое применение минеральных и органических удобрений в сочетании с периодическим известкованием служит определяющим условием формирования высокопродуктивных и экологически сбалансированных агробиоценозов, а также наиболее рациональным способом быстрого окультуривания дерново-подзолистых почв:

- способствует формированию положительного (озимая рожь, клевер) или уравновешенного (яровые зерновые, лён) баланса органического вещества с более качественными органоминеральными комплексами;

- повышает биогенность почв за счет увеличения массы свежего органического вещества в виде пожнивно-корневых остатков, что изменяет интенсивность и направленность биохимических процессов превращения органического вещества в сторону гумусообразования;

- обеспечивает бездефицитный и положительный баланс углерода, азота, фосфора и калия в почве, улучшает качественный состав гумуса и ионно-обменные свойства, увеличивает долю подвижных форм элементов питания в общем их запасе в сторону наиболее благоприятную для питания растений;

- результаты длительных полевых опытов служат основой для оценки и прогнозирования плодородия почв, а также для разработки сбалансированной системы удобрений и комплекса природоохранных мероприятий.

Библиографический список

1. Christensen Bent.T., Trentemoller V. The Ascow Long-Term experiments on animal and mineral fertilizers. - SP- report, 1995. - № 29. – P. 188.
2. Кирюшин Б.Д. Модификация длительных стационарных полевых опытов и их значение для научной агрономии и практического земледелия/ Б.Д.Кирюшин // Известия ТСХА.- вып.1.-2000.- С. 11-22.
3. Кирюшин Б.Д. Роль длительных полевых экспериментов в агрономии и некоторые особенности их проведения/ Б.Д.Кирюшин // Известия ТСХА.- вып.11.-1999.- С. 15-26.
4. Матюк Н.С., Мазиров М.А., Кашеева Д.М. Полин В.Д. Действие 100-летних бессменных культур на агрохимические свойства дерново-

- подзолистой почвы / Н.С. Матюк, М.А Мазиров, Д.М. Кащеева, В.Д. Полин // Агрохимический вестник. – 2012. - №6. - С. 25-29.
5. Доспехов Б.А., Братерская А.Н., Кирюшин Б.Д. Действие 60-летних бессменных культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Б.А. Доспехов, А.Н. Братерская, Б.Д. Кирюшин // Известия ТСХА. – 1975, №2. – С. 43-53.
 6. Матюк Н.С., Полин В.Д. Эффективность длительного применения удобрений и извести при возделывании полевых культур в бессменных посевах и севообороте: в кн. Длительному полевому опыту ТСХА 100 лет: итоги научных исследований / Н.С. Матюк, В.Д. Полин // Научное издание / под редакцией А.Ф. Сафонова. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА. - 2012. - С. 90-105.
 7. Доспехов Б.А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. Действие 60-летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборота на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Б.А. Доспехов, Б.Д. Кирюшин, А.Н. Братерская // Агрохимия. – 1976, № 4. - С. 3-14.
 8. Доспехов Б.А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы по профилю под влиянием 62-летнего применения удобрений и периодического известкования / Б.А. Доспехов, Б.Д. Кирюшин, А.Н. Братерская // Известия ТСХА. – 1975, Вып. 6. - С. 30-40.
 9. Егоров В.Е. Опыт длится 60 лет / В.Е. Егоров. - М.: Знание, 1972. – 30 с.

Changes in fertility of soddy-podzolic soils and productivity of agrobiocenoses during long-term culturation

*Matyuk N.S., Polin V.D., Mazirov M.A., Savoskina O.A., Belenkov A.I.
RGAU-MSHA them. K.A. Timiryazev*

Abstract: *Arable soddy-podzolic soils by their nature are characterized by many properties inherited from the original virgin soils and partly acquired in the process of modern soil formation under the influence of intensification factors of varying degrees of intensity. In arable soils, hydrothermal conditions change significantly, the biological cycle of nutrients which is associated with their significant alienation with the harvest and return with mineral and organic fertilizers. Long-term (110 years) use of one-, two-component and complete mineral fertilizers, as well as its combination with manure and periodic liming, both in the permanent cultivation of field crops and in crop rotation, changes the initial level of fertility of soddy-podzolic light loamy soil and the productivity of agrobiocenoses. The use of mineral fertilizers at a dose of N100P150K120 in combination with manure (20 t/ha) ensures a stable yield of winter cereals at the*

level of 4.5-5.5 t/ha of grain, potatoes - 20-25 t/ha and 6-8 t / ha hay of perennial grasses while reducing the degree of soil degradation to environmental standards.

Key words: *long-term experience, crop rotation, organic carbon and humus, mobile phosphorus, exchangeable potassium, fertility rate, crop productivity.*

УДК 631. 33; 633.82

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕРБИЦИДОВ В ПОСЕВАХ ЛЬНА-
ДОЛГУНЦА**