

УДК 631.445.24

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОКУЛЬТУРИВАНИИ (К 100-летию ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА ТСХА)

Н.С. МАТЮК, М.А. МАЗИРОВ, Д.М. КАЩЕЕВА

(РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва)

*Длительное применение минеральных и органических удобрений в сочетании с периодическим известкованием как при бесменном возделывании полевых культур, так и в севообороте способствует повышению исходного уровня окультуренности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, что обеспечивает устойчивую урожайность озимых зерновых на уровне 4,5–5,5 т/га зерна, 20–25 т/га картофеля и 6–8 т/га сена многолетних трав при снижении степени деградации почвы до экологических нормативов.*

*Ключевые слова: почвенный профиль, длительный опыт, гумус, общий азот, подвижный фосфор, обменный калий.*

## TRANSFORMATION OF SOIL PROFILE UPPER PART ON SOD-PODZOLIC, LIGHT LOAMY SOILS UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM SOIL IMPROVEMENT (TO CENTENARY OF A LONG-TERM EXPERIMENT IN RTSAU)

N.S. MATYUK, M.A. MAZIROV, D.M. KASHCHEEVA

(RTSAU, Moscow)

*Prolonged use of mineral and organic fertilizers, combined with periodic liming as unchangeable in the cultivation of crops in the left and in the rotation increases the initial level of cultivated sod-podzolic loamy soil that provides a sustainable yield of winter cereals at 4.5–5.5 t/ha of grain, 20–25 t/ha of potatoes and 6–8 t/ha of perennial grass hay with a decrease in the degree of degradation of the soil to environmental regulations.*

*Key words: soil profile, long experience, humus, total nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium.*

В 2012 г. исполняется 100 лет Длительному опыту ТСХА, известному за рубежом под названием «Московский стационар». По объему и глубине проведенных исследований он входит в число уникальных опытов, имеющих мировое значение для агрономической науки. Первые научно-агрономические опыты по изучению удобрений появились в Англии вскоре после опубликования (1840) Либихом закона минимума, или лимитирующего фактора, по отношению к питательным веществам растений. Во второй половине XIX в. «волна полевого экспериментирования накрыла» другие страны Европы и Северной Америки. В России, где основным удобрением господствующей трехполки оставался навоз и, отчасти, зола, целью подобных опытов являлось наряду с изучением проблемы минерального питания полевой куль-

туры пропаганда новых технологий в земледелии и демонстрация преимуществ тех или иных видов удобрений и севооборота.

Основоположники научной агрономии в России А.Т. Болотов, А.Н. Энгельгардт, И.А. Стебут, К.А. Тимирязев, Н.И. Вавилов, А.Г. Дояренко и другие известные ученые считали полевой опыт главным методом исследований факторов жизни растений и плодородия почвы.

На протяжении 100 лет ученые различных специальностей академии, других институтов и научно-исследовательских учреждений как отечественных, так и зарубежных проводили исследования в этом опыте.

Ценность результатов научного исследования пропорциональна длительности стационара и возрастает по мере приближения опытного участка к устойчивому эко-фитоценоотическому равновесию. В длительном полевом опыте происходит компенсация части отклонений в действии и взаимодействии изучаемых и неизучаемых, 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 т.ч. и микроэлементов, а также динамику загрязненности почвы тяжелыми металлами, другими токсигенами и вредными для биосферы и человека веществами. На их педо- и агрофоне можно оценить системы земледелия и прогнозировать уровень возможных негативных последствий их применения. Действие многих биологических и технологических факторов на плодородие почвы и продуктивность растений становится очевидным лишь по истечении десятков лет. Поэтому длительные многофакторные опыты незаменимы для целей образования в качестве демонстрационного материала и «живых учебных пособий». Перечисленные достоинства длительных стационаров позволяют сделать вывод о необходимости сохранения их в качестве полевых лабораторий. Они должны быть доступны для ученых всего мира [1, 2, 6, 7, 8].

## Методика

*Агротехническая история, условия и методические особенности проведения опыта.* Земельный участок под опыт площадью 1,5 га составил часть XII поля прифермского севооборота академии. На этом поле с двухсторонним северо-западным склоном в 1° возделывали в 1894-1901 гг. следующие культуры: озимая рожь с подсевом клевера и тимopheевки — травы — травы — овес с подсевом трав — травы — травы — овес с подсевом трав — травы — травы. Урожайность трав на сено за этот период не превышала 10-12 ц/га. В 1902 г. поле паровало (черный пар). В 1903-1911 гг. прошла следующая ротация: рожь — картофель — овес с подсевом трав — травы — травы — овес — пар черный — озимая рожь с подсевом многолетних трав — травы I г. п. За 18 лет, предшествующих закладке опыта, лишь один раз в 1909 г. почву удобрили навозом в дозе 36 т/га, которая обеспечила удвоение урожайности трав. Таким образом, опыт был разбит по пласту многолетних трав.

Почва — дерново-слабоподзолистая, старопашотная, от природы кислая и заплывающая (Podsoluvisol по классификации ФАО). Строение профиля — двухчленное: верхний слой до глубины 40-50 см — песчаный крупнопылеватый суглинок, а нижний — до глубины 3 м — легкий и средний суглинок с прослойками песка. Следы карбонатов (слабое вскипание от НС1) встречаются на 3-м метре (табл. 1).

Усредненные показатели плодородия пахотного слоя почвы, 1972 г.

Показатель	Значение
Содержание физ. песка (частицы >0,05 мм), %	46
Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	2,65
Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	1,53
Мак. гигроскопичность (мг), %	1,25
Полевая влагоемкость (влажность), %	19,2
pH, ед. pH-метра	5,2
Углерод (С) гумуса, %	1,03
Азот (N-общий), %	0,079
C/N	13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (подвижный), мг/100 г	23,5
K <sub>2</sub> O (обменный), мг/100 г	13,3
Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г	9,7

*Схема опыта.* В основу схемы опыта был положен апробированный аналог длительного полевого опыта Геттингена (Германия), заложеного Дрекслером в 1873 г. с целью изучения влияния азота, фосфора и калия раздельно и в различных сочетаниях на продуктивность полевой культуры. В 1912 г. перед посевом яровых культур нарезали 6 полей, которые разделили дорогой шириной 3 м на две части.

На первой части (размер поля 1400 м<sup>2</sup>) стали возделывать монокультуры: озимую рожь, картофель, овес, клевер, лен и черный пар. На другой части (размер поля 1200 м<sup>2</sup>) ввели 6-польный севооборот: черный пар — озимая рожь — картофель — овес с подсевом клевера — клевер — лен. Поперек шести полей монокультур нарезали 11 делянок для 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-го и 11-го, наложили на поля севооборота. Площадь учетной делянки составила 100 м<sup>2</sup> при размерах посевной — от 127 до 133 м<sup>2</sup> соответственно. После наложения извести на половину всех полей в 1949 г. площадь учетной делянки составила 50 м<sup>2</sup>.

*Методические изменения схемы опыта.* В течение первых 60 лет существования опыта, как отмечали В.Е. Егоров [5] и Б.А. Доспехов [4], принципиальная сторона схемы опыта не изменялась. Однако по мере получения ответов на те или иные вопросы предпринимались различные улучшения схемы. Поскольку понятие «схема опыта» подразумевает прежде всего конкретные варианты, то стоит выделить три трансформации исходной схемы:

1. До 1937 г. в варианте 8 (NPK-NO<sub>3</sub>) изучалась нитратная форма азота (чилийская селитра до 1921 г., затем норвежская, а с 1924 г. — заводская натровая селитра). В варианте 9 (NPK с 1912 г.) изучалась аммиачная форма азота (сульфат аммония). В 1938 г. делянки 8-го варианта произвестковали (разовая доза — 2,5 т/га), внесли навоз в дозе 20 т/га и вплоть до 1948 г. продолжили изучение этой дозы навоза, а в 1949 г. вариант 8 принял окончательный вид — NPK+навоз.

2. Первое, наиболее важное дополнение схемы было осуществлено В.Е. Егоровым в 1949 г. Оно связано с введением извести в качестве 3-го изучаемого фактора. Доза извести, рассчитанная по гидrolитической кислотности, составила 4,57 т/га доломитизированного известняка (83% Ca+Mg при соотношении 2:1). Но-

вые варианты были получены путем расщепления исходных делянок пополам. Урожай стал учитываться отдельно с известкованной и неизвесткованной частей делянки. Одновременно бессменный пар оставили лишь на неизвесткованной половине поля, а по фону извести развернули севооборот во времени. Начиная со 2-й ротации чередование культур стало соответствовать основному плодосмену.

3. Первое принципиальное изменение схемы опыта осуществил Б. А. Доспехов в 1973 г. На всех делянках четных полей севооборотного участка стали вносить единое удобрение (NPK), а в 1978 г. внесли известь в дозе 4,5 т/га. На нечетных полях продолжили изучение 9 вариантов дифференцированного удобрения исходной схемы по фону извести и без извести. После введения новых вариантов многократно возросла не только информативность опыта, но и его тематика исследований.

*Усовершенствование агротехники.* Наиболее значимые усовершенствования агротехники в опыте связаны с дозами вносимых удобрений и соотношением в них питательных веществ. Именно по этому фактору выделяют четыре периода столетнего опыта (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Система удобрений в опыте (минеральные удобрения — кг/га, навоз и известь — т/га)

Период	Дозы удобрений				Количество внесенных удобрений				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	навоз	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	навоз	известь
1(1912-1938)	7,5	15	22,5	18	195	390	585	486	0
11(1939-1954)	75	60	90	20	1200	960	1440	320	9
111(1955-1972)	50	75	60	10	900	1350	1080	180	3
IV (1973-2012)	100	150	120	20	3800	5700	4560	760	18

### Результаты исследований

Систематическое применение органических и минеральных удобрений, а также периодическое известкование остаются наиболее эффективным средством химической мелиорации дерново-подзолистой почвы и предпосылкой повышения производительности пашни. Результаты этой мелиорации обусловлены различными факторами: исходные свойства почвы, виды, дозы и сочетания удобрений, а также особенности возделываемой культуры. За первые 60 лет полевого стационара каждая из 240 делянок получила разный уровень антропогенной нагрузки, что обусловило различия в гумусированности и содержании питательных веществ, достигших многократных размеров (табл. 3).

Заслуживает внимания тот факт, что средние показатели окультуренности удобряемых делянок шестипольного севооборота с клевером и паром уступают неудобряемой почве многолетней залежи. Бессменная культура ржи способствовала окультуриванию почвы в большей мере, чем другие культуры, возделываемые бессменно или в севообороте, где содержание гумуса (2,02%) было близко к его значениям в пахотном слое многолетней залежи (2,19%). Наибольшие (21 т/га) потери гумуса за 60-летний период отмечены в бессменных посадках картофеля и поле чистого пара — 36,1 т/га. При бессменных посевах яровых зерновых, клевера и льна их содержание снижалось.

Ценность Длительного опыта ТСХА состоит еще в том, что он единственный в мире, в котором со дня его закладки (1912) введен вариант чистого пара, и тем

**Действие длительного окультуривания почвы (1912-1972)  
на потенциальное плодородие пахотного слоя при среднегодовых нормах удобрений  
и мелиорантов: NjjP^Kgj, кг/га; навоз 16; известь\* 0,5 т/га**

Показатель плодородия	Много-летняя залежь	Роль бесшрнных культур и севооборота (в среднем)						
		севооборот	пар**	рожь	карто-фель	овес (ячмень)	кле-вер	лен
Гумус, %	2,19	1,76	0,89	2,02	1,49	1,77	1,70	1,84
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мг/кг почвы	93	89	150	182	147	134	96	134
K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы	133	91	134	133	8 6	125	78	1 0 2
PHсол.	5,3	5,0	3,9	5,4	5,2	5,5	5,0	5Д

\* Известь вносили раз в б лет с 1949 г.; \*\* по фону без извести.

более с разноудобренными делянками. Даже в Ротамстеде он был включен в схему только в 1959 г. на луговом угодье с управляемым выпасом скота.

Наши исследования показали, что при бесшрнном паровании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы изменения содержания углерода имеют устойчивый тренд к его снижению, причем скорость ежегодных потерь определяется дозами вносимых минеральных и органических удобрений. Наибольшие потери углерода отмечали 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 замедлялись, что связано с достижением почвой уровня критического содержания углерода (0,48-0,52%), обеспеченного 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 внесение в среднем за 100 лет 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 (1995-2010) 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 100 лет составило 0,11%, или 3,3 т/га.

Как было установлено ранее [1, 2, 3], длительное удобрение и периодическое известкование пахотного слоя являются эффективным методом окультуривания подпахотных слоев почвы даже при неизменной глубине вспашки на 20-22 см. Впервые системные обследования метровых профилей почвы на всех полях бесшрнного участка и двух полях севооборота были проведены в 1974 г., а повторные — в 2011 г. Результаты оценки изменений свойств почвы по профилю не только обогатили общие знания по окультуриванию почвы, но также легли в основу научно-практического обоснования минимизации обработки почвы и, прежде всего, частичного отказа от вспашки [4, 7]. Длительное с.-х. использование почвы вызывает изменения морфологических признаков и физико-химических свойств, гумусированности и питательного режима не только пахотного слоя, но и нижележащих горизонтов. Под воздейст-

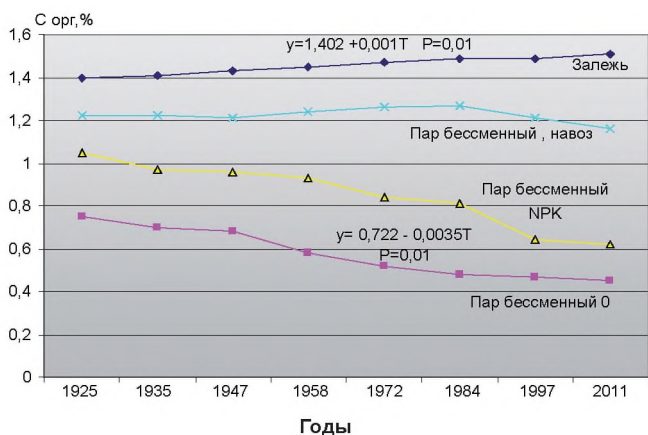


Рис. 1. Изменение содержания углерода ( $C_{орг}$ , %) в бесменном пару и прилегающей залежи

вием длительной полевой культуры мощность пахотного слоя дерново-подзолистой почвы увеличилась по сравнению с мощностью целинного аналога на 6-15 см и достигла 24-30 см. Морфологические различия профилей почвы севооборота и бесменных культур от профиля многолетней залежи являются результатом длительной обработки и окультуривающего воздействия многократного наложения удобрений и периодического известкования в условиях полевой культуры.

По содержанию гумуса, общего азота, фосфора и калия профили разноудобряемых почв севооборота, бесменных культур и многолетней залежи особенно заметно различаются в пределах верхнего слоя 40 см. Необходимо подчеркнуть характерную особенность в действии интенсивного окультуривания: более существенное изменение агрохимических свойств подпахотного слоя 20-40 см, чем пахотного. Гумусированность этого слоя пашни в 2-3 раза выше гумусированности многолетней залежи, а по содержанию подвижных форм фосфора и калия превышение достигает 8-10 раз (табл. 4).

В опыте не установлено принципиальных различий в фосфатном и калийном режимах пахотного и метрового слоя почвы сопоставимых вариантов длительного севооборота и бесменных культур. Влияние удобрений на содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия выразалось незначительными различиями, которые обуславливались биологическими особенностями возделываемых культур. Так, в почве из-под бесменного картофеля и льна количество обменнопоглощенного калия было наименьшим. Сходные значения зарегистрированы в почве полей севооборота. Вместе с тем под бесменными рожью и овсом содержание калия было

Т а б л и ц а 4

**Изменение содержания гумуса, общего азота и подвижных форм фосфора и калия по профилю пашни (фон навоз+NPK) и залежи через 60 лет после закладки опыта**

Слой почвы, см	Залежь многолетняя	Бесменно, без извести					Севооборот	
		пар	рожь	лен	клевер	картофель	без извести	по извести
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Гумус, %</i>								
0-20	2,19	1,06	2,30	1,96	2,16	1,71	2,16	1,93
20-40	0,46	0,53	1,40	0,89	0,96	0,80	1,30	0,85
40-60	0,31	0,26	0,39	0,28	0,21	0,26	0,38	0,21
60-80	0,07	0,18	0,32	0,22	0,16	0,16	0,28	0,16
80-100	0,05	0,12	0,15	0,14	0,14	0,15	0,13	0,09

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>N, мг/100 г почвы</i>								
0-20	94	65	94	90	94	88	82	85
20-40	31	26	65	48	55	44	63	43
40-60	25	17	24	26	17	29	19	10
60-80	15	15	29	18	17	23	15	9
80-100	11	16	20	17	18	16	12	8
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, мг/100 г почвы</i>								
0-20	9,3	24,6	34,8	45,5	17,9	24,3	22,0	16,5
20-40	1,1	10,8	18,9	12,4	4,6	7,5	14,3	9,0
40-60	1,4	6,4	2,4	1,6	1,2	2,0	1,8	3,0
60-80	4,2	15,6	2,4	3,8	3,5	0,9	0,7	3,1
80-100	5,8	12,1	3,6	9,5	11,2	7,0	4,8	5,4
<i>K<sub>2</sub>O, мг/100 г почвы</i>								
0-20	13,3	12,1	19,2	11,8	7,6	15,4	14,7	12,9
20-40	2,0	18,4	17,2	10,9	4,9	7,5	8,5	6,8
40-60	5,2	14,3	12,2	7,6	2,6	6,5	1,5	5,8
60-80	5,0	7,8	7,2	5,4	4,3	5,4	2,0	6,5
80-100	3,5	7,4	6,0	4,6	4,0	5,4	2,2	6,3

выше. По обогащенности фосфатами почвы из-под бессменных культур, кроме клевера, заметно превосходили почвы полей севооборота, что связано с большим отчуждением элементов питания с основной и побочной продукцией.

Длительное применение минеральных удобрений, а также извести и навоза изменяет свойства почвы вплоть до глубины 1 м. При этом масштабы изменения агрохимических показателей в подпахотных горизонтах зачастую выше, чем в пределах пахотного слоя (табл. 5).

Под воздействием длительного применения минеральных удобрений изменился и профиль кислотности почвы. От физиологически кислых аммиачной селитры и хлористого калия, вносимых в составе полного минерального удобрения, значительно увеличилась обменная и гидролитическая кислотность (табл. 6). Периодическое известкование, проводимое раз в 6 лет начиная с 1949 г., приостановило процесс подкисления на неудобряемых делянках по всему профилю, а на делянках с длительным применением одних минеральных удобрений — только до глубины 40-60 см.

В слое 60-100 см отрицательные изменения в кислотности почвы под влиянием систематического применения НРК и возделываемых полевых культур сохраняются и в настоящее время, что подтверждается высоким содержанием подвижных форм алюминия, токсичных для растений (табл. 7).

По действию на формирование профилей кислотности и поглощательных свойств верхней части почвенного профиля (0-100 см) севооборот и бессменные культуры принципиально не различались. Сумма поглощенных оснований на известкованных почвах опыта снижалась до глубины 60-80 см, но ее «провала», типичного для подзолистого слоя целинных почв (залежи), не установлено (рис. 2).

Т а б л и ц а 5

**Действие удобрений на содержание гумуса, общего азота, подвижного фосфора  
и обменного калия в почве пашни (фон NPK+ навоз) и залежи**

Слой почвы, см	Залежь		Бесменно						Севооборот, без извести	
			пар		оз. рожь		картофель			
	1974 г.	2011 г.	1974 г.	2011 г.	1974 г.	2011 г.	1974 г.	2011 г.	1974 г.	2011 г.
<i>Гумус, %</i>										
0-20	2,19	2,21	1,06	2,07	2,30	3,79	1,71	2,28	2,16	2,38
20-40	0,46	0,77	0,53	1,04	1,40	2,31	0,80	1,07	1,30	1,43
40-60	0,31	0,45	0,26	0,50	0,39	0,64	0,26	0,35	0,38	0,42
60-80	0,07	0,09	0,18	0,26	0,32	0,53	0,16	0,24	0,28	0,34
80-100	0,05	0,08	0,12	0,18	0,15	0,25	0,15	0,23	0,13	0,17
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> мг/кг почвы</i>										
0-20	93	192	246	454	348	472	243	440	220	417
20-40	11	13	108	448	189	330	75	170	143	277
40-60	14	9	64	330	24	104	20	38	18	42
60-80	42	44	156	169	24	36	9	32	7	23
80-100	58	102	121	178	36	65	70	87	48	70
<i>K<sub>2</sub>O, мг/кг почвы</i>										
0-20	133	473	121	513	192	600	154	365	220	417
20-40	20	90	184	524	172	557	75	570	143	277
40-60	52	115	143	505	122	390	65	252	18	42
60-80	50	113	78	492	72	172	54	128	7	23
80-100	35	158	74	395	60	168	54	140	48	70

Т а б л и ц а 6

**Влияние систематического удобрения и периодического известкования почвы  
в условиях полевой культуры на изменение понно-обменных свойств в метровом слое**

Слой почвы, см	Залежь многолетняя	Севооборот						Бесменно, навоз + NPK			
		без удобрений		NPK		навоз + NPK		пар	рожь	лен	картофель
		без извести	известь	без извести	известь	без извести	известь				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>pH<sub>сол</sub></i>											
0-20	5,53	4,19	6,23	3,86	6,27	4,15	5,96	3,69	4,80	4,18	5,50
20-40	4,39	4,10	4,70	3,90	5,61	4,10	5,31	3,76	4,82	4,14	4,61
40-60	3,90	4,55	5,05	3,96	4,10	4,36	4,00	3,80	4,66	3,76	4,73
60-80	3,75	4,91	4,70	3,70	3,76	4,09	3,76	3,80	3,85	3,65	3,72
80-100	3,86	5,18	4,41	3,60	3,91	3,98	3,59	4,17	3,54	3,82	3,96



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Гидролитическая кислотность, м-экв/100 г почвы</i>											
0-20	2,20	4,37	1,13	6,67	1,23	5,19	1,76	4,97	2,80	3,63	2,07
20-40	2,38	4,47	2,57	5,98	1,84	4,62	1,92	4,28	2,14	2,68	2,36
40-60	4,14	1,75	1,31	5,61	3,02	2,12	3,80	3,55	1,61	4,32	4,14
60-80	4,57	1,50	1,80	6,83	5,66	3,02	5,37	3,41	3,52	4,61	3,67
80-100	3,26	1,15	1,98	6,69	3,56	3,16	5,48	2,43	4,32	3,05	2,65
<i>Обменная кислотность, м-экв/100 г почвы</i>											
0-20	0,07	0,51	0,04	1,21	0,05	0,45	0,05	1,16	0,09	0,45	0,07
20-40	0,16	0,65	0,18	1,30	0,04	0,49	0,06	0,90	0,08	0,51	0,07
40-60	0,86	0,20	0,07	1,66	0,80	0,30	0,09	0,85	0,08	1,95	1,27
60-80	1,26	0,12	0,12	2,65	1,86	0,78	1,69	0,81	1,36	1,93	1,16
80-100	0,80	0,07	0,25	2,37	0,97	1,10	1,77	0,35	1,99	1,06	0,65
<i>Сумма поглощенных оснований, м-экв/100 г почвы</i>											
0-20	8,6	4,4	10,0	4,7	11,9	5,5	10,4	3,3	5,3	3,5	4,1
20-40	3,9	4,0	4,3	4,8	8,5	4,8	7,5	6,2	5,1	2,1	3,0
40-60	8,7	3,6	4,2	4,6	6,7	4,4	8,3	8,5	5,6	6,0	8,4
60-80	8,3	5,9	8,0	8,0	9,8	5,4	11,2	9,9	7,2	8,3	7,6
80-100	6,1	6,6	8,7	8,6	7,4	6,0	11,2	9,8	5,5	7,1	9,1

Таблица 7

**Сравнительное содержание подвижных форм алюминия в почве пашни и залежи,  
мг/100 г почвы**

Вариант	Слой почвы, см				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Залесь	0,5	1,3	7,4	10,8	7,0
Пашня					
NPK	11,6	12,6	16,2	25,6	22,9
NPK +известь	0,3	0,2	7,2	17,5	9,2

Для анализа временного тренда гумусированности почвы, а также содержания азота, фосфора и калия в 1994 г. были взяты образцы почвы с прикопок до 40 см, а в 2011 г. отчасти повторены почвенные разрезы 1974 г., результаты исследований которых представлены в таблице 8.

Исследованиями, проведенными в 2011 г., установлено, что за последние 37 лет функционирования опыта запасы гумуса в пахотном слое почвы севооборота возросло за счет массы растительных остатков в вариантах без удобрений на 4,8 т/га. NPK — на 17,4 т/га, а при совместном действии пожнивно-корневых остатков и 20 т/га навоза — на 21,3 т/га. В подпахотном слое за счет вертикальной миграции водорастворимых форм органического вещества они увеличились в среднем на 3,9-5,4 т/га.

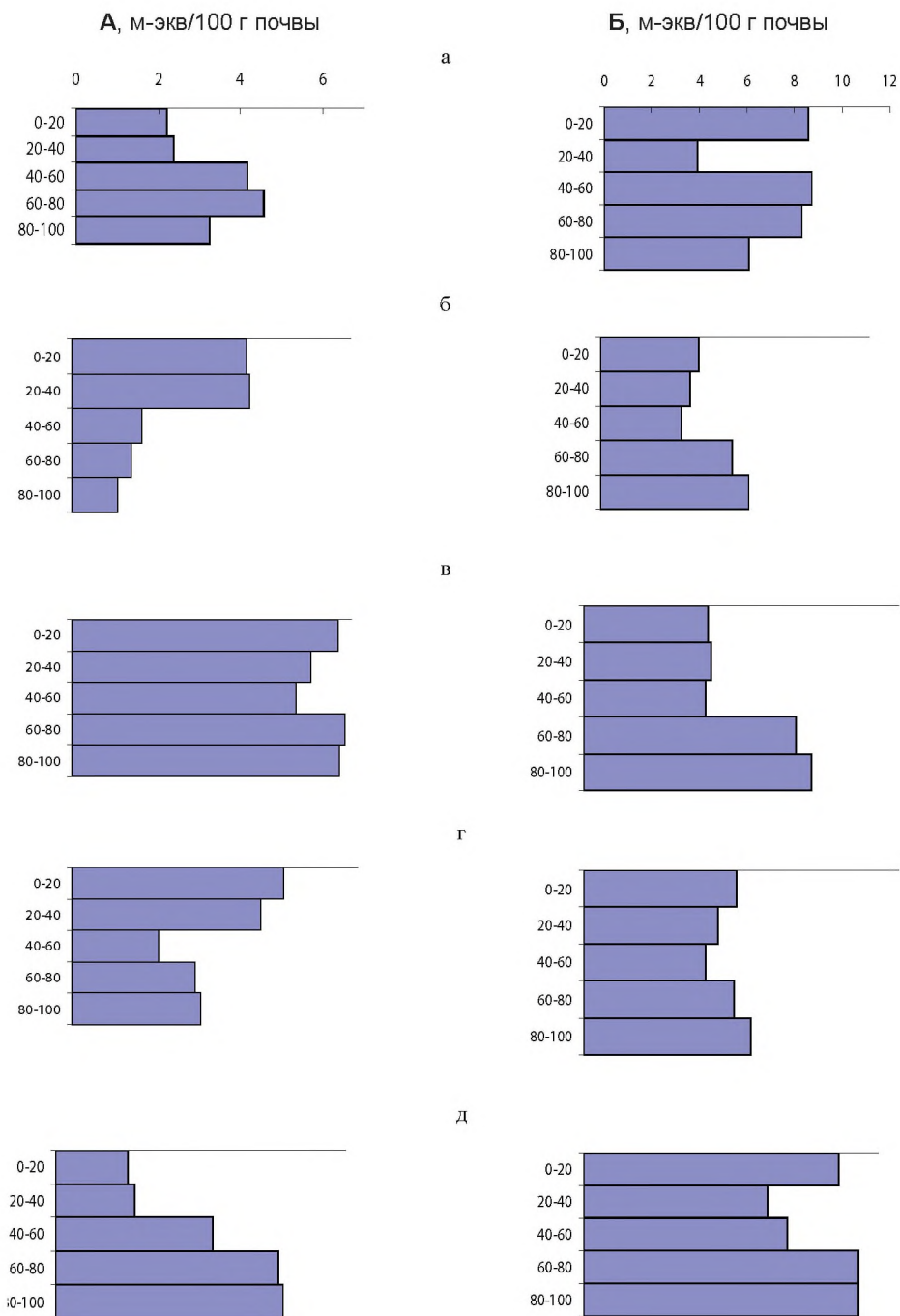


Рис. 2. Действие длительного применения удобрений и мелиорантов на гидролитическую кислотность (А) и сумму поглощенных оснований (Б) по профилю почвы: а — залежь многолетняя; б — без удобрений, в — NPK, г — навоз+NPK, д — навоз+NPK+известь в шестипольном севообороте

Динамика гумусированности пахотного и подпахотного слоев почвы, 1974-2011 гг.

Год	Показатель	Слой почвы, см	Севооборот			Бесменно, навоз+NPK	
			без удобрений	NPK	навоз+NPK	рожь	картофель
1974	Гумус, %	0-20	1,46	1,8	2,1	2,31	1,7
		20-40	1,19	1,41	1,32	1,41	0,8
	C/N	0-20	13,4	15,3	14,4	16,1	11,2
		20-40	11,2	14,0	12,3	12,9	10,6
1994*	Гумус, %	0-20	1,82	1,81	2,18	4,6	1,98
		20-40	0,79	0,96	1,5	2,03	1,0
	C/N	0-20	14,9	13,5	13,8	19,4	14,0
		20-40	12,1	11,4	9,4	13,6	12,1
2011	Гумус, %	0-20	1,62	2,38	2,81	3,79	2,28
		20-40	1,32	1,33	1,5	0,79	1,23

\* Анализы проведены на автоматической установке Strolein Cmat без предварительного разрушения естественной структуры почвы в Берлинском университете.

Такие же закономерности изменения показателей плодородия отмечаются и в низлежащих горизонтах 40-100 см верхней части почвенного профиля (рис. 3). Установлено, что под многолетней залежью через 100 лет после закладки опыта (2011) сохранилась та же закономерность распределения гумуса по профилю почвы, что и в 1974 г., с незначительным его увеличением (0,14-0,21%) в слое 20-60 см.

Такая же тенденция отмечалась и в распределении подвижного фосфора и обменного калия с удвоением его содержания во всех изучаемых слоях профиля.

Пашня, подвергающаяся разной степени природной и антропогенной нагрузки (пар, культуры сплошного сева, пропашные), реагировала на изменение свойств и режимов более значимым увеличением содержания гумуса и элементов питания во всем метровом слое профиля, особенно в чистом пару, где содержание гумуса удвоилось, а фосфора и калия — возросло в 5-8 раз. При этом калий за счет миграции равномерно распределился по глубине, а подвижный фосфор накапливался в основном в слое 0-40 см. Бесменные посевы озимой ржи способствовали более сильному окультуриванию профиля почвы, чем картофель и совместное влияние культур севооборота.

Повышение уровня окультуренности корнеобитаемого слоя (0-40 см) под действием возделываемых культур, удобрений и извести в течение 100-летнего периода исследований проявлялось в росте продуктивности агроценозов (рис. 4).

Так, урожайность озимой ржи в вариантах без удобрений за 100-летний период повысилась в 3 раза за счет подбора сортов и улучшения агротехники, а в вариантах с внесением полного минерального удобрения с 0,9 т/га в первые две ротации (1912-1924) до 2,5 т/га в последние годы. Урожайность картофеля колебалась по ротациям в более узком диапазоне значений и составляла в вариантах без удобрений 6-12 т/га, а на делянках NPK — от 10-12 в первые 36 лет исследований до 22-25 т/га в последующие годы.

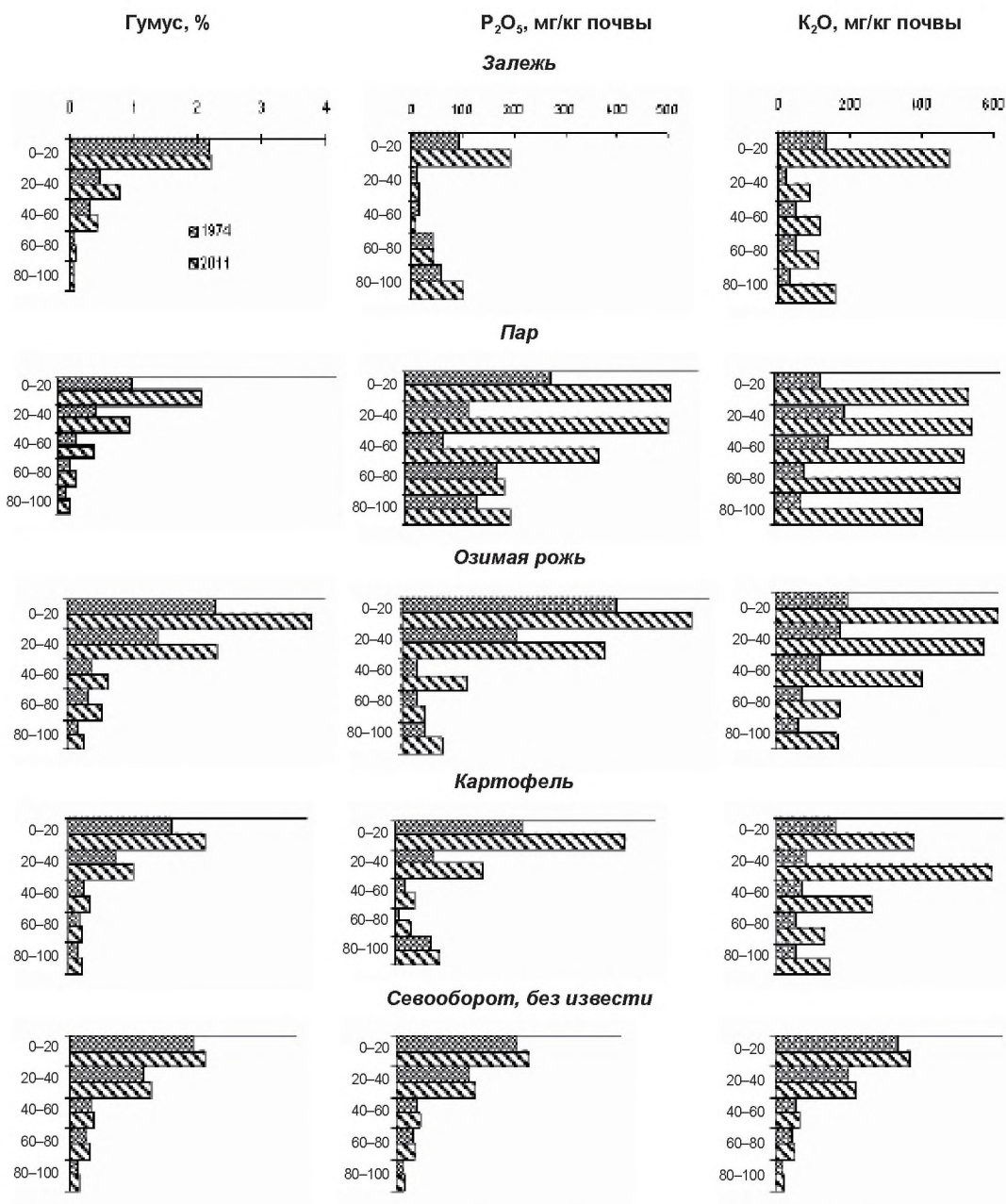
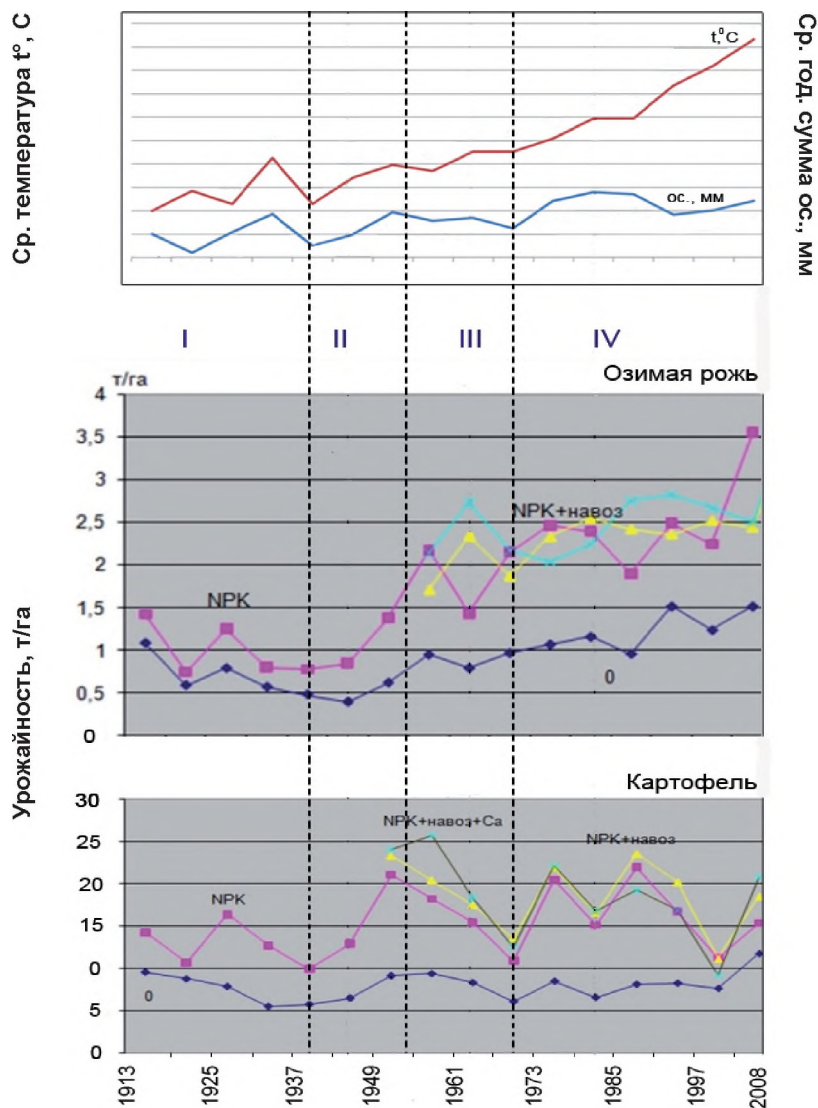


Рис. 3. Распределение гумуса (%), подвижного  $P_2O_5$  и обменного  $K_2O$  (мг/кг почвы) в метровом слое почвенного профиля



**Рис. 4.** Среднегодовые температура, сумма осадков и урожайность бес-  
сменной культуры озимой ржи и картофеля (арифметические средние  
по 0 годам)

#### Выводы

1. В результате 100-летнего с.-х. использования, влияния обработки, удобрений и растений наиболее существенные изменения агрохимических свойств в метровом профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы произошли в верхнем подпахотном слое 20-40 см, совпадающем с местом расположения неблагоприятного для роста растений подзолистого горизонта. Масштабы и направления изменения агрохимических свойств почвы в слое 20-40 см и в пределах метрового профиля теснейшим образом связаны с интенсивно-

стью и типом окультуривания пахотного слоя и обусловлены главным образом известкованием и систематическим применением минеральных и органических удобрений.

2. Принципиальных различий в характере формирования агрохимических свойств почвы метрового профиля сопоставимых вариантов севооборота и бессменных культур не установлено. Специфическое действие различных полевых культур и агротехники их возделывания отразилось в основном на количественном содержании гумуса, общего азота и подвижных элементов питания в корнеобитаемом слое почвы 0-40 см.

3. Многолетнее применение аммиачной селитры и хлористого калия неблагоприятно действует на поглотительные свойства и кислотность всего профиля предварительно известкованной почвы. По фону НРК возрастает кислотность всех видов, резко увеличивается содержание подвижного алюминия, уменьшается сумма поглощенных оснований. Периодическое известкование приостанавливает процесс подкисления по всему профилю для вариантов без удобрения, а в вариантах с длительным, предшествующим известкованию, внесением НРК обеспечивает создание благоприятной для роста растений среды до глубины 40-60 см. Неблагоприятное действие физиологически кислых минеральных удобрений на кислотность почвы в слое 0-40 см не устраняется полностью периодическим (раз в 6 лет) известкованием.

4. Повышение уровня окультуренности почвы сопровождается увеличением урожайности картофеля в 2-2,5 раза, а озимых зерновых — в 3-4 раза.

#### Библиографический список

1. Доспехов Б.А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. //Агрохимия, 1980. № 9.
2. Доспехов Б. А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. Действие 60-летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборота на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия, 1976. № 4. С. 3-14.
3. Доспехов Б.А., Братерская А.Н., Кирюшин Б.Д. Действие 60-летних бессменных культур на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Известия ТСХА, 1975. Вып. 2. С. 43-53.
4. 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//Известия ТСХА, 1975. Вып. 6. С. 30-40.
5. Егоров В.Е. Опыт длится 60 лет. М.: Знание, 1972.
6. Кирюшин Б.Д. Влияние севооборота, бессменных и повторных культур и длительного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы. Автореф. канд. дис. М., 1978.
7. Пупонин А.И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. 183 с.
- в. Christensen Bent.T., Trentemoller V The Ascov Long-Term experiments on animal and mineral fertilizers. SP-report, 1995. № 29. 188 p.

#### Информация об авторах

**Матюк Николай Сергеевич** — д. с.-х. н., проф. каф. земледелия и агрометеорологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; тел. (499)976-08-51; e-mail: zem@timacad.ru.

**Мазиров Михаил Арнольдович** — д. б. н., проф., зав. каф. земледелия и агрометеорологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; тел. (499)976-08-51; e-mail: zem@timacad.ru.

**Кашеева Дарья Михайловна** — асп. каф. земледелия и агрометеорологии РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; тел. (499)976-08-51; e-mail: zem@timacad.ru.

#### Informaion about the autors

**Matyuk Nikolai Sergeyevich** — doctor of agricultural sciences, professor, Department of Agriculture and Agrometeorology ofRTSAU, tel. (499) 976-08-51, zem@timacad.ru.

**Mazirov Michael Arnoldovich** — doctor of Biological Sciences, professor, head of the Department of Agriculture and Agrometeorology ofRTSAU.

**Kashcheeva Darya Mikhaylovna** — post-graduate Department of Agriculture and Agrometeorology ofRTSAu.