

## Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание гумуса в чернозёме обыкновенном Центрального Предкавказья

*Е.И. Годунова, д.с.-х.н., Н.Н. Шаповалова, зав. лабораторией, ФГБНУ Ставропольский НИИСХ*

Содержание гумуса является основным признаком плодородия почвы. Оно тесно связано с её генезисом и в значительной степени определяет агрономические свойства и протекающие в ней биологические и многочисленные химические процессы. Одной из главных проблем XXI в., по мнению Б.М. Когута и В.М. Семёнова, является дегумусирование почв, обусловленное нарушением биогеохимического цикла углерода и ростом эмиссии  $\text{CO}_2$ . Главные причины дегумусирования – изменение почвенных режимов и динамики процессов под влиянием природных и антропогенных нарушающих воздействий [1]. К их числу принадлежат и минеральные удобрения, особенно в случае длительного применения высокими дозами. Поэтому критерий баланса и динамики углерода должен быть в числе приоритетных при оценке действия какого-либо вида удобрения или эффективности той или иной системы удобрения культур [2].

В вопросе о гумусонакапливающем или дегумусирующем эффекте минеральных удобрений нет единого мнения, поскольку имеется много экспериментальных данных, указывающих как на снижение, так и на повышение содержания гумуса при внесении их на разных почвах [2–7]. Вместе с тем давно установлено, что длительное использование чернозёмов без применения удобрений приводит к значительному снижению содержания гумуса в этих почвах. При этом самые высокие потери происходят в пахотном слое в первые годы после освоения целины. С увеличением периода использования пашни уменьшение запасов гумуса наблюдается во всём профиле, но темпы потерь снижаются. Изменение содержания гумуса определяется уровнем интенсификации земледелия: способом обработки почвы, структурой посевных площадей, соотношением в севооборотах паров, пропашных и культур сплошного сева, удельным весом многолетних трав, уровнем применения органических и минеральных удобрений [4].

Так, наибольшие потери гумуса в зерносвекловичном севообороте на чернозёме выщелоченном были выявлены на фоне внесения низких доз минеральных удобрений, минимальные – на фоне совместного внесения минеральных удобрений и навоза [5]. В то же время систематическое применение невысоких доз минеральных удобрений ( $\text{N}_{10-15}$   $\text{P}_{17-23}$ ) в зернотравяном севообороте на лугово-чернозёмной почве увеличило содержание общего гумуса относительно исходного уровня на 0,16–0,30% [6]. Таким образом, гумус, являясь наи-

более доступным источником углерода и элементов питания растений, заметно изменяется под влиянием различных агрономических приёмов. Поэтому целью нашего исследования было установить действие длительного применения разных видов и доз минеральных удобрений на содержание и запасы гумуса в профиле чернозёма обыкновенного.

**Материал и методы исследования.** Исследование проведено в условиях Центрального Предкавказья (Ставропольская возвышенность) в 2007–2009 гг. на базе длительного полевого опыта, заложенного в 1975 г. Почва опытного участка – чернозём обыкновенный мощный малогумусный тяжелосуглинистый на лёссовидных суглинках. Перед закладкой опыта пахотный слой почвы характеризовался следующими значениями агрохимических показателей: рН водной суспензии – 7,2–7,3; содержание гумуса (по Тюрину) – 4,30%; подвижного фосфора и обменного калия (по Мачигину) – 10,4–15,7 и 196–212 мг/кг почвы соответственно.

Исследования проводили в шестипольном зернопаровом севообороте со следующим чередованием культур: пар, озимая пшеница, озимая пшеница, кукуруза на силос, озимая пшеница, овёс (яровой ячмень). В силу объективных причин в 4-й и 5-й ротациях произошли некоторые изменения в культурах севооборота, связанные с увеличением доли чистого пара с 16,7 до 33,3% за счёт силосной кукурузы. При этом насыщенность севооборота зерновыми колосовыми культурами осталась прежней – 66,7%.

Схема опыта предусматривала ежегодное внесение возрастающих доз азотного, фосфорного и калийного удобрений (от 30 до 180 кг/га д.в.) отдельно и совместно с двумя другими элементами, используемыми в виде фона по 120 кг/га д.в. каждого. Удобрения в виде аммиачной селитры, простого суперфосфата и 40-процентной калийной соли применяли под предпосевную культивацию. В течение ротации в паровые поля удобрения не вносили.

Первоначальная схема опыта, состоящая из 42 вариантов, была выдержана в течение первых трёх ротаций севооборота. В 90-е гг. в 4-й ротации удобрения не применялись, а в 5-й (с 1997 по 2005 г.) было возобновлено внесение только азотных и фосфорных удобрений. С 2006 г. в опыте изучалось последствие внесённых ранее удобрительных средств. Таким образом, по указанной схеме было проведено 21-кратное наложение доз азотных и фосфорных и 15-кратное калийных удобрений. В зависимости от дозы суммарное внесение азота и фосфора за пять ротаций севооборота (1975–2005 гг.) составило 630–3780 кг/га,

калия – 450 – 2700 кг/га. В результате был сформирован полигон, характеризующийся высоким разнообразием агрохимических свойств [7]. В работе проанализированы данные 24 вариантов опыта.

В пространстве севооборот развёрнут тремя полями, повторность вариантов – четырёхкратная. Основная обработка почвы включала вспашку на глубину 20–22 см. Для выявления различий в гумусном состоянии почвы по завершении исследования с применением удобрений провели отбор почвенных проб в начале весенней вегетации озимой пшеницы после чистого пара (4-я ротация, 2-е поле севооборота) до глубины 60 см через 20 см. К началу изучения последствий удобрений в стационаре сохранилась только двукратная повторность во времени. Оценка экспериментальных данных проведена с помощью методов математической статистики.

**Результаты исследования.** За 32-летний период сельскохозяйственного использования чернозёма обыкновенного без применения удобрений содержание гумуса в слое 0–20 см уменьшилось на 0,92%, или на 21% относительно исходного уровня. Запасы гумуса в слое 0–60 см сократились в меньшей степени – на 44,3 т/га, или 16%. При этом среднегодовые потери гумуса в пахотном слое составили 0,029%, или 0,45 т/га; в слое 0–60 см – 1,38 т/га.

Длительное систематическое применение минеральных удобрений не обеспечило сохранения исходного уровня содержания гумуса, но способ-

ствовало ослаблению процесса дегумусирования почвы. Влияние удобрений на гумусное состояние чернозёма обыкновенного зависело от вида применяемых туков, дозы и агрохимического фона.

При проведении исследования была установлена важная роль фосфорных удобрений в вопросе гумусообразования в чернозёме обыкновенном (табл. 1). Характерной особенностью сухостепных почв Центрального Предкавказья является низкая обеспеченность пахотного слоя подвижными формами фосфора при значительных валовых его запасах (около 2,9 т/га  $P_2O_5$ ). Это связано с присутствием в средней и нижней части профиля карбонатов кальция и магния и образованием труднорастворимых фосфатов. Устранение дефицита подвижного фосфора с помощью удобрений способствовало повышению урожайности культур и увеличению количества пожнивных и корневых остатков – основного источника углерода в почве [8]. Между содержанием гумуса и средней (за пять ротаций) продуктивностью 1 га севооборотной площади выявлена прямая положительная взаимосвязь (коэффициент корреляции  $r=0,52$ ; фактическое значение критерия достоверности  $F_r=2,84$  при  $F_{05}=2,07$ ). Аналогичная взаимосвязь установлена между гумусом и содержанием фосфора в пахотном слое почвы (коэффициент корреляции  $r=0,63$ ; фактическое значение критерия достоверности  $F_r=3,79$ ).

При систематическом внесении фосфора, как на естественном фоне плодородия, так и на фоне  $N_{120}K_{120}$ , суммарные (за 32 года) потери гумуса

1. Изменение гумуса почвы в результате длительного применения фосфорных удобрений (1975 – 2009 гг.)

Вид и доза удобрения, кг/га д.в.	Слой почвы, см					
	0–20			0–60		
	содержание гумуса, %	отклонение от исходного уровня, %	среднегодо- вая потеря за 32 года, %	запасы гумуса, т/га	отклонение от исходного уровня, т/га	среднегодо- вая потеря за 32 года, т/га
Исходный уровень (1975 г.)	4,30			285,2		
на естественном фоне						
$P_0$ (контроль)	3,38	-0,92	0,029	240,9	-44,3	1,38
$P_{30}$	3,53	-0,77	0,024	244,0	-41,2	1,29
$P_{60}$	3,68	-0,62	0,019	253,5	-31,7	0,99
$P_{90}$	3,73	-0,57	0,018	261,6	-23,6	0,74
$P_{120}$	3,78	-0,52	0,016	263,9	-21,3	0,67
$P_{150}$	3,84	-0,46	0,014	268,0	-17,2	0,54
на удобренном фоне ( $N_{120}K_{120}$ )						
$P_0$	3,63	-0,67	0,021	259,3	-25,9	0,81
$P_{30}$	3,84	-0,46	0,014	254,6	-30,6	0,96
$P_{60}$	3,80	-0,50	0,016	253,5	-31,7	0,99
$P_{90}$	3,76	-0,54	0,017	249,8	-35,4	1,11
$P_{120}$	3,78	-0,52	0,016	251,1	-34,1	1,07
$P_{150}$	3,82	-0,48	0,015	256,1	-29,1	0,91

в пахотном слое составили 0,46–0,77%, что на 0,15–0,46%, или в 1,2–2,0 раза ниже, чем на неудобренном контроле. Наиболее высокая убыль гумуса отмечалась на варианте одностороннего применения небольшой дозы фосфорного удобрения (30 кг/га д.в.) – 0,77%, или 18% относительно исходного состояния. Как показали результаты предшествующих исследований, внесение низкой дозы фосфора не создаёт положительного баланса данного элемента в севообороте, поскольку среднегодовой вынос его с продукцией компенсируется лишь на 64% и существенная часть урожая формируется за счёт естественного плодородия почвы [9].

Увеличение дозы фосфорного удобрения до 120–150 кг/га д.в. при отдельном применении или внесении P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на высоком азотно-калийном фоне сократило потери гумуса до 0,46–0,54%, или до 11–13% относительно исходного уровня.

Изменения, происходящие в пахотном слое, не в полной мере отражают влияние удобрений на гумусное состояние почвы. Анализ запасов гумуса в слое 0–60 см позволяет дать более точную и объективную оценку трансформации органического вещества в профиле почвы. При внесении фосфора на естественном фоне запасы гумуса возросли пропорционально дозе (табл. 1). Пятикратное её увеличение (с 30 до 150 кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) уменьшило потери гумуса за 32 года с 41,2 до 17,2 т/га, или в 2,4 раза. Таким образом, применение одного фосфорного удобрения в высоких дозах (120–150 кг/га д.в.) обеспечило минимальные темпы снижения запасов гумуса – 0,54–0,67 т/га в год.

По данным таблицы 1 видно, что содержание гумуса в пахотном слое не зависело от фона, на котором вносились фосфорные удобрения. В то же время его запасы в слое 0–60 см при внесении высоких доз фосфора (90–150 кг/га д.в.) на азотно-калийном фоне по сравнению с есте-

ственным были ниже в 1,5–1,7 раза (249,8–256,1 и 261,6–268,0 т/га соответственно). Это может быть связано с разным распределением новообразованных соединений гумуса в профиле почвы, влияющем на темпы его минерализации.

В естественном состоянии чернозём обыкновенный характеризуется достаточно большой мощностью (свыше 80 см) и постепенным убыванием количества гумуса с глубиной. На контроле без применения удобрений наиболее высокие запасы гумуса отмечались в слое 21–40 см – 37% от суммы (табл. 2). В пахотном слое сосредоточено лишь 34% от общих запасов 60-сантиметрового слоя, что обусловлено выпашанностью – более сильной минерализацией органического вещества верхнего слоя в аэробных условиях при повышенных температурах. Минимальное количество органического вещества отмечалось в слое 41–60 см – 29% от суммы. Как видно, значительных различий в запасах гумуса по слоям профиля чернозёма не наблюдалось.

Длительное систематическое внесение фосфорных удобрений способствовало увеличению запасов гумуса в слое 0–60 см в сравнении с контролем на 3,1–27,1 т/га, или на 1,3–11,2%. При отдельном их внесении (60 и более кг/га P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) основной прирост новообразованных соединений гумуса произошёл в верхнем (0–20 см) и в нижнем (41–60 см) слоях практически в равных количествах – 41–57 и 43–55% к общему приросту в слое 0–60 см. Это обусловлено тем, что положительное действие фосфорных удобрений на урожай культур связано не только с увеличением количества пожнивных остатков, но и с существенным ростом массы корней и их выделений.

Совместное внесение фосфора и высоких доз азота и калия привело к преимущественному увеличению количества пожнивных остатков культур

2. Распределение запасов гумуса в слое 0–60 см чернозёма обыкновенного после длительного применения (в течение 32 лет) различных доз фосфорного удобрения (среднее за 2007, 2009 гг.)

Вид и доза удобрения, кг/га д.в.	Распределение запасов гумуса по слоям, %			Прирост запасов в слое 0–60 см к контролю, т/га	Распределение прироста запасов по слоям, %		
	0–20	21–40	41–60		0–20	21–40	41–60
на естественном фоне							
P <sub>0</sub> (контроль)	34	37	29				
P <sub>30</sub>	35	37	28	3,1	116	26	-42
P <sub>60</sub>	35	35	30	12,6	57	0	43
P <sub>90</sub>	35	34	31	20,7	41	4	55
P <sub>120</sub>	35	35	31	23,0	41	12	47
P <sub>150</sub>	34	35	31	27,1	41	15	44
на удобренном фоне (N <sub>120</sub> K <sub>120</sub> )							
P <sub>0</sub>	34	33	33	18,4	33	-14	81
P <sub>30</sub>	36	35	29	13,7	80	-10	30
P <sub>60</sub>	36	34	30	12,6	80	-21	41
P <sub>90</sub>	36	35	29	8,9	102	-29	27
P <sub>120</sub>	36	35	29	10,2	94	-18	24
P <sub>150</sub>	36	34	30	15,2	70	-12	42

и преимущественному приросту запасов гумуса в пахотном слое – до 70–102% от общего. Более интенсивная минерализация органического вещества верхнего слоя почвы на фоне  $N_{120}K_{120}$  обусловила более существенное снижение запасов гумуса при внесении высоких доз фосфора по сравнению с естественным фоном.

При низком содержании доступного фосфора в почве (на естественном фоне) азотные удобрения существенно уступают фосфорным во влиянии, оказываемом на урожайность культур. За период исследования при одностороннем внесении азота прибавка продуктивности 1 га севооборотной площади составила 0,6–1,2; в то время как фос-

фора – 2,3–4,5 ц/га зерн. ед. Несмотря на это, азотные удобрения даже на естественном фоне плодородия обеспечили более высокое содержание и запасы гумуса в профиле почвы в сравнении с неудобренным контрольным вариантом (табл. 3).

Влияние одного азота на гумусное состояние чернозёма зависело от его дозы. Минимальные среднегодовые потери гумуса в пахотном слое и в слое 0–60 см отмечались при систематическом одностороннем применении 60 кг/га азота – 0,013% и 0,79 т/га соответственно. Более высокие дозы азотного удобрения заметно усилили процесс дегумусирования почвы, что позволило считать данную дозу оптимальной с точки зрения сохранения

3. Изменение гумуса почвы в результате длительного применения азотных удобрений за 32 года

Вид и доза удобрения, кг/га д.в.	Слой почвы, см					
	0–20			0–60		
	содержание гумуса, %	отклонение от исходного уровня, %	среднегодовая потеря за 32 года, %	запасы гумуса, т/га	отклонение от исходного уровня, т/га	среднегодовая потеря за 32 года, т/га
Исходный уровень (1975 г.)	4,30			285,2		
на естественном фоне						
$N_0$ (контроль)	3,38	-0,92	0,029	240,9	-44,3	1,38
$N_{30}$	3,63	-0,67	0,021	244,0	-41,2	1,29
$N_{60}$	3,89	-0,41	0,013	259,8	-25,4	0,79
$N_{90}$	3,61	-0,69	0,022	257,4	-27,8	0,87
$N_{120}$	3,48	-0,82	0,026	255,4	-29,8	0,93
$N_{150}$	3,48	-0,82	0,026	249,5	-35,7	1,12
на удобренном фоне ( $P_{120}K_{120}$ )						
$N_0$	3,78	-0,52	0,016	262,6	-22,6	0,71
$N_{30}$	3,77	-0,53	0,017	266,3	-18,9	0,59
$N_{60}$	3,73	-0,57	0,018	260,0	-25,2	0,79
$N_{90}$	3,82	-0,48	0,016	263,1	-22,1	0,69
$N_{120}$	3,79	-0,51	0,016	253,6	-31,6	0,99
$N_{150}$	3,81	0,49	0,015	254,1	-31,1	0,97

4. Распределение запасов гумуса в слое 0–60 см чернозёма обыкновенного после длительного применения (в течение 32 лет) различных доз азотного удобрения (среднее за 2007, 2009 гг.)

Вид и доза удобрения, кг/га д.в.	Распределение запасов гумуса по слоям, %			Прирост запасов в слое 0–60 см к контролю, т/га	Распределение прироста запасов по слоям, %		
	0–20	21–40	41–60		0–20	21–40	41–60
на естественном фоне							
$N_0$ (контроль)	34	37	29				
$N_{30}$	36	36	28	3,1	194	0	-94
$N_{60}$	36	34	30	18,9	65	0	35
$N_{90}$	34	36	30	16,5	33	21	46
$N_{120}$	33	36	31	14,5	17	28	55
$N_{150}$	34	36	30	8,6	28	9	63
на удобренном фоне ( $P_{120}K_{120}$ )							
$N_0$	35	35	30	21,7	44	13	43
$N_{30}$	34	36	30	25,4	37	21	42
$N_{60}$	35	34	31	19,1	44	0	56
$N_{90}$	35	35	30	22,2	48	16	36
$N_{120}$	36	33	31	12,7	77	-41	64
$N_{150}$	36	33	31	13,2	78	-39	61

гумуса при внесении азота на почвах с дефицитом легкоусвояемых фосфатов. К оптимальным дозам при использовании азотного удобрения на высоком фосфорно-калийном фоне можно отнести 30–90 кг/га д.в., которые способны максимально сократить среднегодовые потери запасов гумуса в слое 0–60 см до 0,59–0,79 т/га.

На азотном блоке распределение запасов гумуса по слоям 60-сантиметрового профиля имело свои характерные особенности, обусловленные соотношением азота и фосфора, поступившими в почву с удобрениями (табл. 4).

В случае заметного превышения дозы фосфора над азотом ( $N_{0-60}P_{120}K_{120}$ ) наиболее высокий и почти равный прирост новообразованных соединений гумуса наблюдался в двух слоях – 0–20 и 41–60 см. При близком к фосфору или преимущественном поступлении в почву азота ( $N_{90-150}P_{120}K_{120}$ ;  $N_{30-60}$ ) был отмечен более интенсивный прирост запасов гумуса в пахотном слое – 48–194% от общего в слое 0–60 см. Исключение составили варианты внесения высоких доз азота ( $N_{90-150}$ ) на естественном фоне. В данном случае произошёл рост количества новообразованных соединений гумуса в нижележащих слоях – 21–40 см и особенно в слое 41–60 см. На основании результатов проведённых ранее исследований можно предположить, что это связано с существенным повышением кислотности почвенного раствора под действием аммиачной селитры, увеличением подвижности гумусовых соединений и их миграцией в глубь почвенного профиля.

**Выводы.** Для сохранения гумуса в чернозёме обыкновенном Центрального Предкавказья на возможно более высоком уровне необходимо систематическое применение фосфорных удобрений в дозе не менее 60 кг/га д.в. В этом случае общие потери гумуса в пахотном слое за 32 года использования сократились в сравнении с неудобренным контролем на 0,30–0,46%, или в 1,5–2,0 раза. Положительный эффект при внесении фосфора возрастает пропорционально дозе.

Азотные удобрения также оказывают положительное влияние на гумусное состояние почвы, которое зависит от дозы и фона внесения. На естественном фоне плодородия с дефицитом легкоусвояемых фосфатов минимальные среднегодовые потери гумуса в пахотном слое и в слое 0–60 см отмечаются при одностороннем применении 60 кг/га азота – 0,013% и 0,79 т/га соответственно. Более высокие дозы азотного удобрения приводят к усилению процесса дегумусирования почвы. На высоком фосфорно-калийном фоне доза азота может быть увеличена до 90 кг/га без негативных последствий для запасов гумуса в 60-сантиметровом слое.

### Литература

1. Когут Б.М., Семёнов В.М. Эволюция доминирующих парадигм в учении о гумусе и почвенном органическом веществе // *Агрохимия*. 2015. № 12. С. 3–19.
2. Семёнов В.М., Лебедева Т.Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // *Агрохимия*. 2015. № 11. С. 3–12.
3. Минеев В.Г., Шевцова Л.К. Влияние длительного применения удобрений на гумус почвы и урожай культур // *Агрохимия*. 1978. № 7. С. 134–141.
4. Чесняк Г.Я. Гумусовое состояние чернозёмов / Г.Я. Чесняк, Ф.Я. Гаврилюк, И.А. Крупеников, Н.И. Лактионов, И.И. Шилихина // *Русский чернозём – 100 лет после Докучаева*. М.: Наука, 1983. С. 186–198.
5. Минакова О.А. Прогноз азотного и гумусного состояния чернозёма выщелоченного в зерносвекловичном севообороте лесостепи ЦЧР / О.А. Минакова, А.И. Громовик, Л.В. Александрова [и др.] // *Сахарная свёкла*. 2010. № 1. С. 19–21.
6. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А. Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на содержание лабильного органического вещества в лугово-чернозёмной почве // *Агрохимия*. 2015. № 1. С. 16–22.
7. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П. Мониторинг плодородия чернозёма обыкновенного, сформированного под воздействием длительного применения минеральных удобрений // *Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями: матер. междунар. науч.-методич. конф. М.: ВНИИА, 2010. С. 131–134.*
8. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н., Петров Н.Л. Эффективность минеральных удобрений в полевом севообороте в зависимости от доз и длительности применения: методич. рекоменд. Михайловск: ГНУ «Ставропольский НИИСХ», 2005. 25 с.
9. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Шаповалова Н.Н. Значение результатов длительного опыта с удобрениями для разработки эффективных мероприятий по сохранению плодородия обыкновенных чернозёмов Ставрополя // *75 лет Географической сети опытов с удобрениями: матер. всерос. совещ. науч. учрежд. – участн. Географической сети опытов с удобрениями*. М.: ВНИИА, 2016. С. 153–161.