

УДК 631.41:631.445.4:631.82

**ИЗМЕНЕНИЕ ОБЩИХ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА И АЗОТА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ***Н.Н. Шаповалова, Е.И. Годунова, д.с.-х.н.,**Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр**Россия, 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49**e-mail: [schapovalova.nadejda@yandex.ru](mailto:schapovalova.nadejda@yandex.ru)*

Обобщены результаты исследований в длительном опыте по влиянию последействия систематического применения возрастающих доз минеральных удобрений на общее содержание, запасы и послойное распределение органического углерода и азота в верхней части профиля почвы (0-60 см). В течение 42-летнего периода проведения опыта произошли существенное сокращение запасов углерода и азота и расширение соотношения C:N в сравнении с исходным уровнем (1975 г.). Наиболее высокие потери углерода отмечены в слое 0-20 см на неудобренном контроле и после внесения одного азотного удобрения – 0,44-0,55%. За весь период проведения опыта применение одного фосфорного удобрения обеспечило нуль-деградацию почвы по содержанию органического углерода. Минимальное количество общего азота также установлено на контроле и в последействии высокой дозы фосфорного удобрения  $P_{150}$  на фоне  $N_{120}K_{120}$ . Наибольшая степень насыщенности органического вещества азотом (C:N=10,6-10,9) наблюдалась в последействии длительного применения азотного удобрения в дозах  $N_{90-150}$  и фосфорного удобрения в дозе  $P_{30}$ . Среди почвенных слоёв наиболее высокая степень истощения по азоту отмечена в слое 20-40 см, из которого, скорее всего, и происходило основное потребление питательных веществ растениями.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, последействие, потенциальное плодородие, органический углерод, азот почвы, соотношение C:N, деградация почвы.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.08

Основным условием повышения устойчивости современного земледелия являются рациональное использование и расширенное воспроизводство плодородия почв. Плодородие, как особое специфическое свойство почвы, определяет величину урожайности культур и ценность сельскохозяйственных угодий. Это свойство почвы является результатом не только естественного процесса почвообразования, но и антропогенного воздействия – обработки земель, внесения удобрений, мелиорации и других приемов. В год применения удобрений культурами используется лишь часть элементов питания (фосфора в среднем 10-25%, азота – 50-60 и калия – 40-45%), а оставшееся количество пополняет ближайший и потенциальные резервы почвы, которые в наибольшей степени расходуются в условиях существенного снижения или полного прекращения применения удобрительных средств [1-3]. Проявление эффекта последействия удобрений позволяет длительное время сохранять достаточно высокий уровень урожайности культур, что и наблюдалось 20 лет назад, когда в 2000 г. в сравнении с 1990 г. объём применения органических удобрений в стране сократился в 4 раза, азотных – в 5, фосфорных и калийных – в 20 раз [4].

К важнейшим количественным показателям потенциального плодородия, определяющим все основные свойства почвы и характеризующим способность к мобилизации необходимого количества элементов питания для растений и поддержанию определённого уровня эффективного плодородия, относятся общие запасы углерода (гумуса) и азота [5]. При проведении агрохимического обследования земель один раз в 5 лет определяют содержание гумуса только в пахотном слое, а результаты ежегодно проводимой почвенной диагно-

стики показывают потребность возделываемых культур лишь в минеральном азоте. Поэтому полученные данные не могут быть использованы для объективной оценки изменений потенциального плодородия почвы, происходящих в процессе их многолетнего сельскохозяйственного использования. В литературе достаточно полно представлены результаты исследований по влиянию удобрений на содержание и запасы гумуса в разных типах почв [6-9]. Вместе с тем, современный анализ изменений общих запасов углерода и азота и их распределения по слоям почвенного профиля под воздействием длительного применения удобрений проведён не на всех подтипах почв и разных природно-климатических условиях [10,11].

Цель исследований – изучить влияние длительного применения и последействия высоких доз разного вида минеральных удобрений на содержание, общие запасы углерода и азота, соотношение C:N в слое 0-60 см чернозема обыкновенного в условиях неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья.

**Методика.** Исследования выполнены на базе экспериментального поля отдела агроэкологии ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАИП» в трехфакторном полевом опыте, заложенном в 1975 г. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный мощный малогумусный тяжелосуглинистый. При закладке опыта пахотный слой почвы характеризовался следующими агрохимическими показателями: гумус по Тюрину – 4,3%, подвижный фосфор и калий в 1%-ной углеаммонийной вытяжке по Мачигину – 12,9 и 184 мг/кг соответственно; pH водной суспензии 7,3, валовой азот 0,32%, валовой фосфор – 0,12, валовой калий – 2,13%; общие карбонаты по Павлову – 1,17%. Опытное поле расположено в Шпаков-

ском районе Ставропольского края, относящемся к зоне неустойчивого увлажнения с умеренно-континентальным климатом и годовой суммарной радиацией свыше 100 ккал/см<sup>2</sup>. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,4<sup>0</sup>С. Самый холодный месяц – январь со среднесуточной температурой – 1,9<sup>0</sup>С, самый теплый – июль (+23,5<sup>0</sup>С). Безморозный период длится около 190-200 дней. Зима – умеренно мягкая. Среднегодовое количество осадков в зоне распространения черноземных почв – 559 мм, гидротермический коэффициент – 1,0-1,09, коэффициент увлажнения – 0,27-0,31, сумма активных температур >10<sup>0</sup>С составляет 3300-3650 <sup>0</sup>С. Черноземы занимают 38% территории края, среди которых преобладает подтип обыкновенных – 20,8% [12].

В опыте изучали эффективность простых удобрений (аммиачная селитра, суперфосфат и 40%-ная калийная соль), которые применяли в возрастающих дозах по отдельности и на фоне двух других питательных элементов – по 120 кг д.в/га каждого. В течение первых трех ротаций севооборота (1975-1992 гг.) удобрения вносили ежегодно перед посевом культуры, исключая поле чистого пара. С 1993 по 1995 гг. внесение прекратили, а с осени 1996 г. по весну 2005 г. применяли только фосфорные и азотные удобрения по прежней схеме. В течение этого 30-летнего периода азотное и фосфорное удобрения использовали 21 раз, калийное – 15 раз. В сумме по вариантам опыта было внесено от 630 до 3780 кг/га азота, от 630 до 3780 фосфора и от 450 до 2700 кг/га калия.

Прямое действие удобрений изучали в 6-польном полевом севообороте, в котором в течение первых трёх ротаций чередование культур было следующим: 1 – чистый пар; 2 – озимая пшеница; 3 – озимая пшеница; 4 – кукуруза на силос; 5 – озимая пшеница; 6 – овёс (яровой ячмень). В IV и V ротациях кукуруза была заменена сидеральным (яровой рапс) и чистым паром. С 2006 г. проводят наблюдения за последствием удобрений. В этот период культуры чередовались следующим образом: чистый пар – озимая пшеница – озимый ячмень – соя – яровой ячмень – лен – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – горох – озимая пшеница – чистый пар. Опыт изначально проводили на трёх полях, последовательно закладываемых во времени с интервалом в год. К началу изучения последствия (2006 г.) в опыте сохранились лишь две временные повторности. Площадь опытной делянки – 75 м<sup>2</sup>, уборочная площадь – 22 м<sup>2</sup>. Повторность вариантов на каждом поле – четырехкратная. Лабораторное определение общего гумуса проводили по общепринятой методике в соответствии с ГОСТом 26213-91, общего азота – с ГОСТом 26107-84. Оценку экспериментальных данных осуществляли с помощью методов математической статистики с использованием программы AgCStat-Excel.

**Результаты и их обсуждение.** За длительный период проведения опыта установлено, что минеральные удобрения, применяемые даже в высоких дозах, не сохраняют исходное общее содержание и запасы углерода в профиле чернозема обыкновенного, но, в сравнении с неудобренным контролем, поддерживают его на более высоком уровне (табл. 1).

Приоритетная роль в сокращении потерь общего углерода принадлежит фосфорному удобрению, в вариантах которого после 42 лет проведения опыта запасы углерода в слое 0-60 см составляли от 88,2 до 91,2 % к

исходному уровню по сравнению с 80,6%, отмечаемыми на контроле. Наиболее существенные отличия от контроля по содержанию и запасам углерода наблюдались в пахотном (0-20 см) слое – на 0,11-0,25%, или 3,2-6,0 т/га.

**1. Общее содержание и запасы углерода (С) в слое почвы 0-60 см после 30 лет действия и 12 лет последствия удобрений (в среднем за 1975-2018 гг.)**

Вариант опыта	Содержание по слоям почвы (см), %			Запасы по слоям почвы (см), т/га				
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-60	из-мене
Исходное (1975 г.)	2,50	2,34	2,13	60,3	61,8	57,1	179,2	ние
Контроль (б/у)	2,00	1,88	1,74	48,4	49,5	46,6	144,5	80,6
N <sub>30</sub>	2,06	1,98	1,71	49,9	52,3	45,8	148,0	82,4
N <sub>60</sub>	2,06	1,95	1,66	49,9	51,4	44,5	145,8	81,3
N <sub>90</sub>	2,01	1,93	1,80	48,7	51,0	48,3	148,0	82,4
N <sub>150</sub>	2,03	1,85	1,72	49,1	48,8	46,2	144,0	80,2
P <sub>30</sub>	2,23	2,14	1,96	53,9	56,4	52,5	162,9	90,8
P <sub>60</sub>	2,25	2,12	1,99	54,4	56,0	53,4	163,8	91,2
P <sub>90</sub>	2,24	2,12	1,79	54,3	55,9	48,0	158,2	88,2
P <sub>150</sub>	2,24	2,16	1,86	54,3	57,0	49,9	161,1	89,7
P <sub>30</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	2,15	1,94	1,70	52,1	51,1	45,5	148,7	82,9
P <sub>60</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	2,13	1,96	1,67	51,6	51,7	44,7	148,0	82,5
P <sub>90</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	2,11	1,92	1,78	51,0	50,8	47,7	149,5	83,3
P <sub>150</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>12</sub>	2,18	1,97	1,70	52,7	52,1	45,5	150,2	83,8
HCP <sub>05</sub>	0,11	0,21	0,22	2,8	5,7	6,0	12,9	5,7

*Примечание.* В числителе – % к исходным запасам в слое 0-60 см, в знаменателе – изменение к контролю, т/га (здесь и в таблице 2).

При отдельном внесении фосфора эти различия отмечались в слое как 0-20 см, так и 0-60 см в целом, а в вариантах с использованием фосфора на фоне N<sub>120</sub>K<sub>120</sub> – только в верхнем слое. Это объясняется более высоким потреблением питательных элементов из органического вещества в вариантах последствия полного минерального удобрения. Положительное влияние фосфорного удобрения на общее содержание и запасы углерода в профиле почвы связано не только с ростом урожайности культур и увеличением массы растительных остатков, но и с использованием в качестве удобрения суперфосфата, содержащего значительное количество кальция, способствующего созданию более устойчивых гумусовых образований [13].

Самым доступным источником питания растений, который заметно меняется под влиянием различных агрономических приемов (обработки почвы, количества и качества корневых и пожнивных остатков, удобрений), является лабильная фракция углерода. Она может быть рассчитана по разности между содержанием общего углерода и его инертной (минимальной) фракцией, которую можно определить в неудобренных почвах в условиях бессменного чистого парования [14]. По мнению ряда исследователей [15], содержание углерода в контрольных вариантах длительных опытов с удобрениями близко к данным, полученным на участках с бес-

сменным чистым паром, поэтому его можно принять за минимальный (критический) уровень для определённого подтипа почв. В нашем опыте для обыкновенных черноземов тяжелого суглинистого состава оно составляет в слое 0-20 см около 2,0%. За 12 лет последствий до этого уровня снизились содержание углерода в вариантах отдельного внесения азота – 2,01-2,06%, что в дальнейшем может свидетельствовать об исчерпывании эффекта последствий азотного удобрения.

Азот – важнейший питательный элемент, недостаток которого препятствует образованию органических веществ и накоплению биомассы растений. Перед закладкой опыта в 1975-1977 гг. общее содержание азота в слое почвы 0-20 см составляло 0,315% (7,59 т/га), запасы в слое 0-60 см – 25,57 т/га (табл.2). В процессе сельскохозяйственного использования чернозема (за 42 года проведения опыта) во всех вариантах произошло существенное снижение общего количества азота в профиле почвы. Подобно органическому углероду, наименьшие значения показателя установлены на контроле (без применения удобрений), в котором в сравнении с исходным содержание азота в слое 0-20 см сократилось в 2,6 раза, а запасы в слое 0-60 см – в 2,5 раза.

## 2. Общее содержание и запасы азота (N) в слое почвы 0-60 см после 30 лет действия и 12 лет последствий удобрений (в среднем за 1975-2018 гг.)

Вариант опыта	Содержание по слоям почвы (см), %			Запасы по слоям почвы (см), т/га				
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-60	изменение
Исходное (1975 г.)	0,315	0,360	0,318	7,59	9,47	8,51	25,57	
Контроль (6/у)	0,119	0,158	0,117	2,87	4,16	3,14	10,17	<u>39,8</u> -
N <sub>30</sub>	0,177	0,155	0,175	4,27	4,08	4,69	13,04	<u>51,0</u> 2,87
N <sub>60</sub>	0,179	0,152	0,183	4,31	4,00	4,90	13,21	<u>51,7</u> 3,04
N <sub>90</sub>	0,185	0,176	0,193	4,46	4,63	5,17	14,26	<u>55,8</u> 4,09
N <sub>150</sub>	0,192	0,183	0,189	4,63	4,81	5,07	14,51	<u>56,7</u> 4,34
P <sub>30</sub>	0,205	0,157	0,371	4,94	4,13	9,95	19,02	<u>74,4</u> 8,85
P <sub>60</sub>	0,201	0,189	0,170	4,84	4,98	4,55	14,37	<u>56,2</u> 4,20
P <sub>90</sub>	0,189	0,149	0,174	4,55	3,91	4,66	13,12	<u>51,3</u> 2,95
P <sub>150</sub>	0,124	0,171	0,206	2,98	4,50	5,51	12,99	<u>50,8</u> 2,82
P <sub>30</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,193	0,192	0,156	4,65	5,05	4,18	13,88	<u>54,3</u> 3,71
P <sub>60</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,171	0,156	0,169	4,12	4,10	4,53	12,75	<u>49,9</u> 2,58
P <sub>90</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,161	0,174	0,167	3,88	4,58	4,48	12,94	<u>50,6</u> 2,77
P <sub>150</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,150	0,157	0,146	3,62	4,13	3,91	11,66	<u>45,6</u> 1,49

В настоящее время на контроле валовые запасы азота в слое 0-60 см составляют около 40% от первоначальной величины. Такое существенное снижение значения показателя за 42 года использования чернозема может быть связано не только с полным отсутствием компенсации выноса элемента за счет внесения удобрений, но также и с восемью годами чистого парования. Длительное применение и последствие как азотного, так и фосфорного удобрений снизило общие потери азота в профиле почвы в сравнении с контролем на 2,87-8,85

т/га, или 5,9-34,7%. Однако относительно исходного уровня убыль азота также была довольно значительной – 25,6-54,4%. За время проведения опыта общее количество азота в почве находилось в прямой взаимосвязи с дозой азотного удобрения и в обратной – фосфорного. Через 12 лет последствий удобрений наиболее высокие общие запасы азота в слое 0-60 см обнаружены в варианте отдельного внесения минимальной дозы фосфорного удобрения – P<sub>30</sub>. Далее следовали P<sub>60</sub> и N<sub>90-150</sub>, P<sub>30</sub> на фоне N<sub>120</sub>K<sub>120</sub>. Минимальные запасы азота среди удобренных вариантов отмечены в вариантах P<sub>150</sub> и P<sub>60-150</sub> на фоне N<sub>120</sub>K<sub>120</sub>, где были получены самые высокие среднегодовые прибавки урожайности культур в последствии удобрений – 0,91 и 0,99-1,11 тыс. з.е/га соответственно [16].

Для оценки окультуренности почв и устойчивости плодородия изучали не только изменения в профильном послойном распределении общего содержания углерода и азота, но и в соотношении C:N (табл. 3).

## 3. Соотношение общего содержания углерода и азота по слоям почвы

Вариант опыта	Внесено удобрений в сумме, кг д.в/га	Соотношение C:N в слое		
		0-20 см	20-40 см	40-60 см
Исходное		7,9	6,5	6,7
Контроль	0	16,8	11,9	14,9
N <sub>30</sub>	630	11,6	12,8	9,8
N <sub>60</sub>	1260	11,5	12,8	9,1
N <sub>90</sub>	1890	10,9	11,0	9,3
N <sub>150</sub>	3150	10,6	10,1	9,1
P <sub>30</sub>	630	10,9	13,6	5,3
P <sub>60</sub>	1260	11,2	11,2	11,7
P <sub>90</sub>	1890	11,9	14,2	10,3
P <sub>150</sub>	3150	18,1	12,6	9,0
P <sub>30</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5670	11,1	10,1	10,9
P <sub>60</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	6300	12,5	12,6	9,9
P <sub>90</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	6930	13,1	11,0	10,7
P <sub>150</sub> +N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	8190	14,5	12,5	11,6

Данные показатели свидетельствуют о благоприятных биоклиматических условиях для активного развития микробоценоза в черноземе обыкновенном, в результате которого происходит образование зрелых специфических гумусовых веществ, обогащенных азотом, с высокой оптической плотностью и повышенным содержанием гуминовых кислот, связанных с кальцием [11]. За 42 года использования чернозема без удобрений (контроль) соотношение C:N существенно расширилось: в слое 0-20 см до 16,8; 20-40 см – 11,9 и 40-60 см – до 14,9. Это свидетельствует о низкой насыщенности органического вещества азотом в современных условиях, снижении активности процессов минерализации, повышении устойчивости гумуса и, вследствие этого, увеличении потребности культур в минеральном и биологическом азоте на естественном фоне плодородия.

В удобренных вариантах опыта также произошло увеличение соотношения C:N по всей глубине профиля, но в сравнении с исходными показателями менее значимое, чем на контроле. Исключение составил вариант последствий P<sub>150</sub>. Наиболее благоприятное соотношение углерода к азоту в слое 0-20 см отмечено в вариантах последствий высоких доз азотного удобрения (N<sub>90-150</sub>) и низкой дозы фосфора (P<sub>30</sub>). В слое 40-60 см практически во всех ранее удобренных вариантах насыщенность органического вещества азотом оказалась

более высокой, чем на контроле и в верхних слоях – 0-20 и 20-40 см.

Из данных таблицы 2 видно, что в этих вариантах общее содержание азота в слое 40-60 см было выше контроля на 0,029-0,254%, а в вариантах последействия отдельного внесения азотного и фосфорного удобрений больше не только в сравнении с контролем, но и с вышерасположенными почвенными слоями. Это свидетельствует о том, что под влиянием фосфора удобрений увеличивались масса корневой системы и урожайность сельскохозяйственных культур, что вызвало усиление процессов образования устойчивых гумусовых соединений во всём гумусовом слое почвы. В результате длительного применения азотного удобрения происходили также перемещение и закрепление азота в нижних слоях почвы. При этом наибольшее потребление растениями питательных элементов, включая азот, осуществляется из верхнего (0-40 см) слоя почвы.

**4. Оценка степени деградации почвы по общему содержанию углерода и азота в слое 0-60 см после 42 лет проведения опыта**

Вариант опыта	Степень деградации почвы по слоям (см) профиля					
	по углероду (C)			по азоту (N)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
Контроль	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{3}{2,6}$	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{3}{2,7}$
N <sub>30</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{2}{1,8}$	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{2}{1,8}$
N <sub>60</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{2}{1,8}$	$\frac{3}{2,4}$	$\frac{2}{1,7}$
N <sub>90</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{2}{1,7}$	$\frac{2}{2,0}$	$\frac{2}{1,6}$
N <sub>150</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{2}{1,6}$	$\frac{2}{2,0}$	$\frac{2}{1,7}$
P <sub>30</sub>	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{1}{1,5}$	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{0}{0,9}$
P <sub>60</sub>	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{2}{1,6}$	$\frac{2}{1,9}$	$\frac{2}{1,9}$
P <sub>90</sub>	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{2}{1,7}$	$\frac{3}{2,4}$	$\frac{2}{1,8}$
P <sub>150</sub>	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{3}{2,5}$	$\frac{3}{2,8}$	$\frac{1}{1,5}$
P <sub>30</sub> + N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{2}{1,6}$	$\frac{2}{1,9}$	$\frac{2}{2,0}$
P <sub>60</sub> + N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{2}{1,8}$	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{2}{1,9}$
P <sub>90</sub> + N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{2}{2,0}$	$\frac{3}{2,1}$	$\frac{2}{1,9}$
P <sub>150</sub> + N <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	$\frac{0}{1,1}$	$\frac{1}{1,2}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{3}{2,1}$	$\frac{3}{2,3}$	$\frac{3}{2,2}$

*Примечание.* В числителе – степень деградации в баллах, в знаменателе – величина отношения исходного общего содержания C или N к современному уровню.

Для характеристики процессов истощения, сопровождающихся снижением запасов общего углерода и азота, была определена степень деградации почвы. В качестве критерия изменения состояния почвы использовали отношение исходного содержания элемента в почве к конечному (современному). Полученный результат оценивали по 5-балльной шкале [17]. В соответствии с этой шкалой, 4 балла соответствуют максимальной степени истощения почвы. Как видно из таблицы 4, соединения органического углерода характеризуются большей устойчивостью к разложению и потерям в сравнении с соединениями азота. Степень деградации почвы по общему содержанию углерода в опыте оценивалась от 0 до 1, а по азоту – от 0 до 3 баллов. Данные таблицы 4 наглядно показывают, что только отдельное применение кальцийсодержащих фосфорных удобрений в течение длительного периода сельскохозяйственной экс-

плуатации чернозема способно обеспечить его нуль-деградацию в отношении общего углерода. При этом в вариантах последействия самой высокой дозы фосфорного удобрения P<sub>150</sub> отдельно и на фоне N<sub>120</sub>K<sub>120</sub> наблюдалась наибольшая степень истощения по общему азоту в слое 0-60 см (3 балла), также как и на не удобренном контроле. Среди всех вариантов опыта наименьшая степень истощения почвы в отношении азота отмечена в варианте с самой низкой дозой фосфора – P<sub>30</sub>. Из трёх исследуемых почвенных слоёв практически во всех вариантах опыта наиболее высокой степенью истощения (3 балла) характеризовался слой 20-40 см, по-видимому, из-за более интенсивного потребления питательных веществ растениями.

**Выводы.** Возделывание сельскохозяйственных культур на черноземе обыкновенном без применения удобрений в течение всего периода проведения опыта (42 года) привело к снижению общего содержания и запасов углерода и азота не только в пахотном слое, но и в слое 0-60 см. Степень истощения почвы по азоту в сравнении с углеродом была более сильной, что способствовало расширению соотношения C:N в профиле почвы. При низкой насыщенности органического вещества азотом повышается инертность гумуса и снижается активность процессов минерализации. Это может свидетельствовать о достижении почвой минимального уровня содержания углерода, ниже которого процессы, происходящие в почве, могут быть необратимыми. Длительное применение и последствие фосфорного удобрения обеспечило нуль-деградацию профиля почвы по углероду. Вместе с тем, использование фосфора в высокой дозе (150 кг/га) отдельно или на фоне N<sub>120</sub>K<sub>120</sub> привело в период последействия к наибольшей, после контроля, степени истощения чернозема по общему содержанию и запасам азота вследствие более активного усвоения этого элемента живыми организмами на фоне высокого содержания фосфатов в почве.

#### Литература

1. Сычёв В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
2. Горбунов Н.И. Минералы и физическая химия почв. – М.: Наука, 1978. – 296 с.
3. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. – 2019. – № 1 (106). – С.11-14.
4. Сычёв В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 325 с.
5. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.
6. Чесняк Г.Я., Гаврилюк Ф.Я., Крупеников И.А., Лактионов Н.И., Шилихина И.И. Гумусовое состояние черноземов //Русский чернозем – 100 лет после Докучаева. – М.: Наука, 1983. – С.186-198.
7. Минеев В.Г., Шевцова Л.К. Влияние длительного применения удобрений на гумус почвы и урожай культур // Агрохимия. – 1978. – № 7. – С.134-141.
8. Фиатиев Б.Х., Шхацева С.Х. Влияние сельскохозяйственного использования на некоторые свойства обыкновенных черноземов Восточного Предкавказья // Почвоведение. – 1979. – № 11. – С.131-139.
9. Годунова Е.И., Шаповалова Н.Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание гумуса в черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья // Из-

вестия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (66). – С.20-24.

10. Сычёв В.Г., Шевцова Л.К., Беличенко М.В., Рухович О.В., Иванова О.И. Влияние длительного применения различных систем удобрения на органофильный состав основных зональных типов почв. Сообщение 1. Дерново-подзолистые почвы // Плодородие. – 2019. – № 2 (107). – С. 3-7.

11. Сычёв В.Г., Шевцова Л.К., Беличенко М.В., Рухович О.В., Иванова О.И. Влияние длительного применения различных систем удобрения на органофильный состав основных зональных типов почв. Сообщение 2. Серые лесные и черноземные почвы // Плодородие. – 2019. – № 3 (108). – С.10-14.

12. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография / В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, Л.И. Желнакова и др. – Ставрополь: Изд-во Ставропольского гос. аграрного ун-та АГРУС, 2013. – 520 с.

13. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И., Шустикова Е.П. Кислотность-основность свойства чернозема обыкновенного после

длительного внесения минеральных удобрений // Плодородие. – 2016. – №4 (91). – С.15-18.

14. Козут, Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 308-316.

15. Кершенс М., Шульц Е., Титова Н.А. Динамика гумуса в мощном черноземе // Почвоведение. – 2002. – № 5. – С. 601-606.

16. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Динамика элементов питания и урожайность культур при последствии длительного применения минеральных удобрений на черноземе обыкновенном // Агрохимический вестник. – 2019. – № 5. – С.44-50.

17. Титова В.И., Дабахова Е.В., Дабахов М.В. Агро- и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов; Нижегородская ГСХА. – Н. Новгород: Изд.-во ВВАГС, 2011. – 170 с.

## CHANGE OF TOTAL CARBON AND NITROGEN RESERVES IN ORDINARY CHERNOZEM UNDER THE INFLUENCE OF LONG-TERM APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS AND ITS AFTEREFFECT

N.N. Shapovalova, Ye.I. Godunova

The North Caucasus Federal agricultural research centre, Nikonova ul. 49, 356241 Mikhailovsk, Russia, e-mail:

[schapovalova.nadejda@yandex.ru](mailto:schapovalova.nadejda@yandex.ru)

The results of the studies were analyzed in a long-term experience on the effect of systematic application of increasing doses of mineral fertilizers on the total content, reserves and layer-by-layer distribution of organic carbon and nitrogen in the profile 0-60 cm of soil. During the 42-year period of cultivation, there was a significant reduction in carbon and nitrogen reserves and an expansion in the C:N ratio compared to the start level (1975). The highest carbon losses are observed in the layer 0-20 cm in unfertilized control and after separate application of nitrogen fertilizer – 0.44-0.55%. During the whole period of the experiment, the application of phosphorus fertilizer alone provided zero-degradation of the soil in terms of organic carbon content. The minimum amount of total nitrogen is also established in the control and in the aftereffect of a high dose of phosphorus fertilizer  $P_{150}$  against the background of  $N_{120}K_{120}$ . The greatest degree of saturation of organic matter with nitrogen (C:N = 10.6-10.9) was observed in the variant with aftereffect of long-term application of nitrogen fertilizer at doses of  $N_{90-150}$  and phosphorus fertilizer at the dose of  $P_{30}$ . Among the soil layers, the highest degree of nitrogen depletion was observed in the 20-40 cm layer, from which most likely the main nutrient consumption by plants occurred.

Keywords: mineral fertilizers, after-effect, potential fertility, organic carbon, soil nitrogen, C:N ratio, soil degradation.

УДК:631.81.095.337

## ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КОМПЛЕКСОМ АМИНОКИСЛОТ С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ НА ВСХОЖЕСТЬ, ЭНЕРГИЮ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОРАСТАНИЯ

Т.Ю. Вознесенская, О.А. Шаповал, д.с.-х.н., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

127550, Москва, ул.Прянишникова, 31А, Россия, [elgen@mail.ru](mailto:elgen@mail.ru)

Работа выполнена по государственному заданию № 0572-2019-0014

Изучена в лабораторных условиях регулирующая активность комплекса аминокислот с микроэлементами, влияющая на всхожесть семян пшеницы озимой и интенсивность их прорастания. Максимальные значения энергии прорастания (85%, на контроле 67%) и всхожести (88%, на контроле – 71%) получены при обработке семян этим комплексом в норме 1,5 л/т семян. По совокупности максимальных значений показателей качества семян пшеницы озимой сорта Вершина (энергия прорастания, всхожесть, длина корешка и длина ростка, их масса – сырая и сухая в расчёте на 100 проростков) установлены оптимальные нормы расхода комплекса аминокислот с микроэлементами – 0,5; 1,5, 3,0 л/т семян.

Ключевые слова: пшеница озимая, комплекс микроэлементов с аминокислотами, всхожесть семян, энергия прорастания.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.09

Темпы появления всходов, рост и развитие растений, и, наконец, урожайность в значительной степени зависят от качества посевного материала. Именно качество семян определяет генетическую гомогенность, физические свойства, жизнедеятельность и полевую продуктивность растений [1].

Плодородие №5•2020

При прорастании семян единственным источником формирования нового растения служат белки, которые являются не только запасными веществами, но и катализаторами, влияющими на скорость ферментативных процессов, протекающих при обмене [2]. Основные структурные единицы белковых веществ – аминокисло-