

иние по сравнению с залежью, более термоустойчивые структуры, разрушающиеся при 670°C (потеря массы 17,4%) и 810°C (потеря массы 2,0%). Общая потеря массы при термодеструкции ароматической части ЛГ составила 55,3% и она, судя по величине коэффициента Z равной 0,60, более чем в 1,5 раза преобладает над алифатическими компонентами. В целом ЛГ, формирующийся под влиянием лесополосы, характеризуется более высокой степенью ароматичности по сравнению с ЛГ чернозёма залежи.

В составе лабильного гумуса пахотных чернозёмов возрастает роль алифатических структур, и при этом отчётливо выражена зависимость специфики его компонентного состава от характера использования пашни. Общий вид ДТГ кривой ЛГ варианта со средним уровнем обеспеченности чернозёма элементами питания близок варианту залежи: в обоих случаях алифатическая и ароматическая части ЛГ сформированы двумя группами различных по термоустойчивости компонентов. В то же время в составе ЛГ пахотного чернозёма возросла роль слабо термоустойчивых компонентов, особенно это касается его ароматической части, где на долю наиболее термоустойчивых структур приходится всего лишь 2,3% от общей потери массы. Потеря массы в низкотемпературной области составила 44,3%, в высокотемпературной — 46,6%. Коэффициент Z равен 0,95, что заметно выше, чем у ЛГ чернозёма залежи и лесополосы и свидетельствует о практически одинаковом вкладе алифатических и ароматических компонентов в формирование ЛГ.

В варианте с минеральными удобрениями вклад ароматических компонентов в состав ЛГ чернозёма выше, о чём свидетельствует величина коэффициента Z равная 0,86, при этом по сравнению с залежью термоустойчивость структур формирующих ароматическую часть ЛГ, возросла на 45-95°C. Практически такая же степень ароматичности, судя по величине коэффициента Z, равной 0,84, присуща ЛГ чернозёма с высоким уровнем обеспеченности элементами минерального питания и ежегодным внесением минеральных удобрений. В то же время ЛГ данного варианта отличается несколько более высокой гигроскопичностью (12,1%) и довольно однородной алифатической частью, на что указывает наличие на кривой ДТГ одной термической реакции в низкотемпературной области при 275°C с потерей массы 40,1%. Наряду с этим несколько возрос вклад в состав ЛГ конденсированных структур с высокой термоустойчивостью. Разрушение их проходит при 735°C с потерей 6,1% массы от общей. В целом же по сравнению с залежью термоустойчивость компонентов, формирующих ароматическую часть ЛГ, увеличилась на 120-135°C.

В составе ЛГ эродированного чернозёма отчётливо доминирует алифатическая часть, которая заметно дифференцирована по компонентному составу, на что указывает наличие на кривой ДТГ в низкотемпературной области трёх термических реакций, достигающих максимальной скорости при 165, 280 и 390°C с потерей массы 4,9%, 34,1% и 14,6% соответственно. Общая потеря массы, приходящаяся на алифатическую часть ЛГ эродированного чернозёма, составила 53,6%. Неоднородна и ароматическая часть, подвергающаяся термодеструкции в ходе двух реакций при 535°C с потерей массы 26,8% и при 695°C с потерей массы 9,8%. В данном случае ароматические компоненты ЛГ также характеризуются более высокой (на 55-95°C) термоустойчивостью по сравнению с аналогичными структурами ЛГ залежи. Потеря массы, приходящаяся на ароматическую часть ЛГ, составила 36,6% от общей, а величина коэффициента Z — 1,46.

**Заключение.** Лабильный гумус обыкновенных чернозёмов естественных ценозов неоднороден по своему составу. В его формировании участвуют две группы веществ алифатического типа и две группы соединений ароматической природы, при этом ароматические компоненты отчётливо преобладают над алифатическими.

Изменение условий гумусообразования, отражается на термической характеристике лабильного гумуса. Под влиянием лесополосы ЛГ чернозёма обогащается ароматическими компонентами, а алифатическая часть его теряет слабо термо-

устойчивые структуры и становится более однородной по составу. Подобный характер трансформации ЛГ, по-видимому, обусловлен усилением биохимической активности при изменении микроклиматических условий.

В пахотных чернозёмах в связи с уменьшением количества поступающих в почву растительных остатков и улучшением условий аэрации усиливается биохимическая деструкция ЛГ, его общая алифатизация и термоустойчивость формирующихся ароматических компонентов ЛГ. В наиболее яркой форме проявляется это при развитии эрозии, в меньшей степени — при отсутствии ежегодной компенсации элементов питания. Ежегодное внесение минеральных удобрений, увеличивая поступление в почву пожнивно-корневых остатков и способствуя тем самым новообразованию лабильных гумусовых веществ, в определённой мере ограничивает процесс алифатизации ЛГ.

#### Литература

1. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия — М: Колос. 1996. с. 367
2. Кононова М.М. Органическое вещество почвы — М.: АН СССР. 1963. с. 314.
3. Мамонтов В.Г., Родионова Л.П., Быковский Ф.Ф., Сираж А. Лабильное органическое вещество почвы: номенклатурная схема, методы изучения и агроэкологические функции. // Известия ТСХА. 2000. Вып. 4, с. 93-108.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почвы. — М.: МГУ. 1974. с.333.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почвы и общая теория гумификации. — М.: МГУ. 1990. с.325.
6. Тейт Р.Л. Органическое вещество почвы. — М.: Мир. 1991. с.349.
7. Черников В.А., Кончиц В.А. Кинетика пиролиза фульвосоединений некоторых типов почв. // Известия ТСХА. 1973. Вып.1. с.101-113.

## ОТВЕТ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕГКИХ ФРАКЦИЙ НА ДЛИТЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

*Н.А. Титова, к.с.-х.н., Л.С. Травникова, к.б.н.,  
Б.М. Когут, д.с.-х.н., В.А. Холодов, к.б.н.,  
Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева  
Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 04-04-48902*

*Резюме.* На основе данных многолетних полевых и модельных экспериментов в почвах различного типа и разных почвенно-географических зон рассмотрено накопление и изменение органического вещества легких фракций в зависимости от применения органических и минеральных удобрений.

*Abstract.* Accumulation and change of organic matter of light fractions were considered depending on used of organic and mineral fertilizers on the basis of long-term field- and modeling experiments data for different soil types.

Органическое вещество почвы является основой формирования и поддержания статуса и качества почвы. Оно во многом определяет физические, химические и биологические свойства почвы, является одним из факторов ее плодородия и получения урожая культур, а также предпосылкой ее устойчивости к деградации. Одновременно оно является важным компонентом в глобальном круговороте углерода и азота, влияет на их сток и эмиссию во всей экосистеме, включая саму почву, растение, воду и атмосферу. Поэтому правильное регулирование запасов и обеспечение оптимального качества органического вещества является одной из основ поддержания не только устойчивого земледелия, но и устойчивого развития биосферы в целом[4].

Вместе с тем, знания лишь общего содержания C в почвах совершенно недостаточно для правильной оценки их плодородия и устойчивости в меняющихся условиях окружающей

среды. Установленное проф. Заурбеком [20] с помощью метки  $^{14}\text{C}$  положение о наличии в почве двух фондов (пулов) органического вещества - лабильного, составляющего 1/3 всего запаса, и стабильного, составляющего его основную часть [2], остается руководящей идеей для многочисленных последователей. При этом для оценки лабильной части используются разные подходы, на первоначальном этапе это были в основном химические методы. Исследованиями последних десятилетий убедительно показано, что сложная система органического вещества почв, состоящая из многих составляющих различного химического состава, имеющих разную степень разлагаемости и длительность пребывания в почве, может быть успешно разделена (по отношению к глинистой части почвы) на относительно крупные функционально значимые группы компонентов с помощью метода физического фракционирования почвы [15]. При этом группы компонентов для более подробного изучения могут быть выделены из почвы с наименьшими изменениями их естественного состояния [14]. Это легкие фракции с плотностью  $<1,8$  и  $1,8-2,0$  г/см $^3$ , не связанные с глинистой матрицей, и фракция так называемого легкодиспергируемого ила ( $<1$  мкм, плотность  $>2$  г/см $^3$ ), в которой органическое вещество адсорбировано глинистыми минералами и оксидами-гидроксидами Fe и Al. Названные выше группы фракций отличаются массой, содержанием и составом органического вещества, специфической ролью в почвенном плодородии [9, 12], а также различным ответом на характер землепользования и применяемые агротехнические приемы.

Учитывая, что изменения в органическом веществе происходят медленно, проследить их с наибольшей вероятностью удастся лишь по прошествии длительного времени. Уникальную возможность для этого предоставляют хорошо документированные полевые и модельные опыты, расположенные в разных климатических зонах, на разных типах почв, характеризующихся неодинаковым гранулометрическим и минералогическим составом и биохимической обстановкой.

Сегодня мы имеем возможность оценить изменения в содержании фракций и их обогащенности углеродом под влиянием длительного применения минеральных, органических удобрений или их сочетания в условиях севооборота или парования на образцах почв длительных (30-100 лет) опытов (табл. 1) России, Украины, Молдовы и Германии (архивные образцы длительных опытов Германии были любезно предоставлены нам проф. М. Кершенсом и д-ром Э. Шульц в рамках Договора о двустороннем сотрудничестве между Почвенным институтом им. В.В. Докучаева и Секцией почвенных исследований Центра исследования окружающей среды Лейпциг-Халле, которым авторы выражают искреннюю признательность).

Были изучены образцы альбик лувисоли, альбик лувисоли /ловик ареносоли, глейк лувисолей, черноземов типичного мощного, выщелоченного, обыкновенного, лессового (гаплик чернозем) и гаплик феозема (слой 0-25 или 0-30 см, условия севооборота) в диапазоне гранулометрического состава от легкого до тяжелого. О различиях в гранулометрическом составе косвенно можно судить по данным содержания легкодиспергируемого ила ( $<1$  мкм), выделенного нами из почв (согласно названному выше методу фракционирования) с помощью обработки ультразвуком (УЗ) их водных суспензий серий из 15 одноминутных озвучиваний (15-35 кН, концентрации суспензий 1:5 - 1:10). Количество УЗ-ила варьировало от 2,5 до 45%. В каждом опыте были отобраны образцы почв с вариантов без удобрений, с внесением НРК, органических удобрений (навоз, солома) или их сочетаний, чтобы отследить ответ общего органического вещества и разных групп его компонентов на длительное внесение удобрений. В данной публикации мы остановимся на судьбе и составе органического вещества легких фракций.

Легкие фракции (ЛФ) выделяли из остатка почвы (после отделения УЗ-ила) путем его обработки смесью бромформа с этиловым спиртом, которая имела плотность 2 г/см $^3$ .

## 1. Характеристика длительных опытов

Страна	Название опыта, почва	Год закладки опыта	Среднегодовая температура, °С	Среднегодовое количество осадков, мм	Содержание УЗ-ила, % от массы почвы
Германия	Тюро, альбик лувисоль	1937	8,6	520	2,42-2,61
	Гросс Кройц, альбик лувисоль/ловик ареносоли	1959	8,9	537	2,95-3,78
	Зеехаузен, глейк лувисоль	1957	9,0	556	8,22-8,55
	Метау, глейк лувисоль	1966	8,0	600	13,6-14,9
Украина	Мироновская оп. станция, чернозем выщелоченный	1912	6,9	500	17,0-17,5
Германия	Бад Лаухштед, гаплик чернозем	1902	8,7	484	21,2-24,5
Молдова	Чернозем обыкновенный	1963	9,1	450	24,0-24,1
Россия	Петринский оп. п., чернозем типичный мощный	1964	5,1	540	26,4-27,6
Германия	Штраусфурт, гаплик чернозем	1965	8,7	476	43,6-45,2

ЛФ с плотностью  $<2,0$  г/см $^3$  в дальнейшем подразделяли на 2 подфракции - ЛФ1 с плотностью  $<1,8$  г/см $^3$  и ЛФ2 с плотностью  $1,8-2,0$  г/см $^3$ . Выделение ЛФ после отделения УЗ-ила, а не путем непосредственного воздействия тяжелой жидкости на почву [10], позволяет наиболее полно отделить их от илистых частиц и получить в чистом виде [9]. Во всех образцах определяли Сорг. общий почвы, массу фракций (% от веса почвы), содержание углерода во фракциях (% от веса фракции), содержание углерода фракции с учетом ее массы (% от веса почвы) и долю С фракции (% от Сорг. общего почвы). Анализ результатов (табл. 2) показывает, что при общем разбросе данных по содержанию Сорг. общего от 0,38 до 3,81% (графа 3) в условиях установившегося за десятилетия опытов динамического равновесия наименьшие величины в каждом опыте, как и следовало ожидать, относятся к вариантам, не получавшим никаких удобрений, наибольшие величины приурочены к вариантам, длительное время систематически получавшим навоз отдельно или совместно с минеральными удобрениями (минеральный N). При этом прибавки общего С находились в пределах от 0,01 до 0,57 % от веса почвы. Увеличению в большей степени способствовали органические удобрения, в первую очередь, навоз и навоз совместно с НРК. Прибавки общего Сорг. в вариантах с внесением одних минеральных удобрений не превышали 0,21 %.

Легкие фракции составляли по всем полевым опытам от 0,50 до 5,0 % от веса почвы, что укладывается в пределы известных величин накопления массы ЛФ [9, 11]. На повышение степени удобрённости почв ЛФ отвечают суммарным увеличением массы по сравнению с вариантами без удобрений - в 1,2-2,5 раза (графа 10). При этом в вариантах с максимальной дозой удобрений масса ЛФ1, как правило, превышает массу ЛФ2. В промежуточных вариантах (между наиболее контрастными) эта закономерность не всегда выдерживается (графы 4 и 8).

Вклад углерода суммы ЛФ в общий Сорг. почв был равен 14-62 % (графа 12), при этом в вариантах с удобрениями он возрастал по сравнению с вариантами без удобрений до 30,9 % или до 2,85 раза. Близкие величины активных составляющих органического вещества были получены с помощью специально разработанного метода с использованием  $^{14}\text{C}$  [17] в длительном (100 лет) опыте Морроу Университета шт. Иллинойс США. В образцах верхнего слоя (0-20 см) почвы в варианте бессеменной кукурузы пул активных компонентов составлял 35 %, в варианте севооборота кукуруза - овес - клевер он увеличивался до 61 % от Собщ.

2. Изменение массы и содержания С легких фракций (ЛФ) в зависимости от применения удобрений

Опыт	Вариант	Сорг общ., %	ЛФ1 ( $d < 1,8 \text{ г/см}^3$ )				ЛФ2 $1,8-2,0 \text{ г/см}^3$		Сумма ЛФ		
			Масса, % от массы почвы	С, % от			Масса, % от массы почвы	С, % от массы фракц.	Масса, % от массы почвы	С, % от	
				массы фракц.	массы почвы	Сорг.				массы почвы	Сорг.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тюро	Без удобр.	0,39	0,30	36,42	0,11	28,2	0,20	3,94	0,50	0,12	30,8
	NPK+Ca	0,42	0,40	36,84	0,15	35,7	0,20	8,89	0,60	0,17	40,5
	NPK+Ca+ Навоз	0,60	1,00	35,54	0,36	60,0	0,20	6,78	1,20	0,37	61,7
Гросс Кройтц	Без удобр.	0,44	0,25	22,43	0,06	13,6	0,25	0,54	0,50	0,06	13,6
	NPK	0,38	0,31	33,32	0,10	26,3	0,51	7,65	0,82	0,14	36,8
	NPK+навоз, 24 т/га	0,42	0,52	27,88	0,14	33,3	0,52	4,20	1,04	0,16	38,1
Зесхау- зен	Навоз, 48 т/га	0,49	0,66	27,04	0,18	36,7	0,51	0,94	1,17	0,19	38,8
	Без удобр.	0,83	0,71	33,95	0,24	28,9	0,71	7,78	1,42	0,27	32,5
	N, 320 кг/га	0,91	1,04	20,53	0,21	23,1	0,52	0,22	1,56	0,21	23,2
Метву	Орг. удобр.	0,94	1,22	26,04	0,32	34,0	0,81	0,62	2,03	0,32	34,0
	Без удобр.	1,39	0,70	36,97	0,26	18,7	0,75	4,08	1,45	0,29	20,8
	N, 160 кг/га+ Солома, 5 т/га	1,39	0,76	36,28	0,22	15,8	0,61	4,08	1,37	0,25	18,0
Украина	Без удобр.	1,52	0,91	35,76	0,33	21,7	0,81	4,60	1,72	0,37	24,3
	160 кг/га+сол ома, 20 т/га										
	Навоз	2,19	1,19	33,07	0,39	17,8	1,15	10,38	2,34	0,51	23,3
Бад Лаух- штедт	Навоз	2,56	1,69	34,45	0,58	22,6	1,32	10,66	3,01	0,72	28,1
	Без удобр.	1,63	1,14	34,11	0,39	23,9	0,87	13,81	2,01	0,51	31,3
	NPK	1,84	1,32	34,69	0,46	25,0	1,31	12,95	2,63	0,63	34,2
Молдова	Навоз, 15 т/га	2,13	2,06	32,03	0,66	31,0	2,32	12,08	4,38	0,94	44,1
	NPK+навоз, 15 т/га	2,20	2,59	31,65	0,82	37,3	2,41	12,41	5,00	1,12	50,9
	Без удобр.	1,69	1,29	36,07	0,46	27,2	0,56	10,86	1,88	0,52	30,8
Россия	Навоз	1,70	1,44	35,17	0,51	30,0	0,43	12,06	1,87	0,56	32,9
	Без удобр.	3,64	1,60	37,4	0,60	16,5	1,80	11,2	3,40	0,80	22,0
	NPK	3,71	1,80	37,1	0,68	18,3	1,90	11,1	3,70	0,89	24,0
Штраус- фурт	Навоз	3,81	2,60	35,7	0,93	24,4	1,90	11,1	4,50	1,14	29,9
	Без удобр.	2,83	1,10	34,90	0,38	13,4	0,70	12,08	1,80	0,46	16,2
	Ср. ур. удобр	2,87	1,43	32,18	0,46	16,0	1,22	13,98	2,65	0,63	21,9
	Выс. ур. удобр	3,05	1,79	33,38	0,60	19,7	1,00	14,62	2,79	0,75	24,6
Модельные опыты (Бад Лаухштедт)											
V 494	Без удобр.	1,93	1,00	36,30	0,36	18,7	0,70	9,21	1,70	0,42	21,8
	Навоз, 50 т/га	2,35	1,83	33,23	0,61	25,9	1,02	13,34	2,85	0,75	31,9
	Навоз, 160 т/га	2,41	1,66	33,39	0,55	22,8	0,83	12,10	2,47	0,65	26,9
	Навоз, 200 т/га	3,32	3,35	31,62	1,06	31,9	1,36	14,71	4,71	1,26	37,9
V 503	Делянка 2	1,79	0,73	36,99	0,27	15,1	0,62	10,76	1,35	0,34	19,0
	Делянка 100	3,85	4,12	29,96	1,23	32,0	2,41	13,94	6,53	1,57	40,8

При этом средний возраст общего органического вещества по  $^{14}\text{C}$  (с поправкой на  $^{13}\text{C}$ ) становился меньше при более обильном поступлении растительных остатков в севообороте с клевером и был равен 1038 годам против 1680 лет в варианте с бессменной кукурузой [18].

Определение содержания С в ЛФ1 и ЛФ2 показывает их существенное различие. ЛФ1 по всем почвам и всем вариантам полевых и модельных опытов характеризуются величинами, превышающими 20% (20,5-37,0%, графа 5), содержание С в ЛФ2 сильно варьирует, но не превышает 15% (графа 9). Благодаря этому различию вклад ЛФ1 в общий С почвы существенно превышает вклад ЛФ2, составляя от 13 до 37% (в случае самой легкой по гранулометрическому составу почвы опыта Тюро - > 60% от общего С почвы), тогда как вклад С ЛФ2 колеблется в пределах от 2 до 14% (разница между графами 7 и 12). Это позволяет говорить о том, что при длительном применении удобрений возрастание содержания органического вещества почв происходит за счет накопления органического вещества легких фракций и преимущественно фракции ЛФ1 с плотностью  $< 1,8 \text{ г/см}^3$ .

Известные и до сих пор единичные микроскопические исследования легких фракций с плотностью  $1,7-2,0 \text{ г/см}^3$  [3] или  $1,8-2,3 \text{ г/см}^3$  [13] (примерный аналог фракции ЛФ2 в представляемых нами исследованиях) свидетельствовали о присутствии в них биогенных форм аморфного кремнезема. Данные же о составе органического вещества отсутствовали и отсутствуют до сих пор. Последнее, несомненно, связано с

малым количеством ЛФ в почвах вообще и отношением к фракции ЛФ2 как к промежуточной в частности.

Фракция ЛФ1, по-видимому, представляет наибольший интерес с точки зрения изучения природы и состава органического вещества. Она, в свою очередь, состоит из 2 компонентов, которые резко различаются по составу и времени круговорота углерода: легкоразлагаемого и термодинамически устойчивого, более зрелого гуминового [12]. Представленные нами данные по длительным и модельным опытам подтверждают это. О присутствии более зрелого компонента говорит высокое содержание С в ЛФ1 (более высокое, чем в ЛФ2), а наличие менее зрелых компонентов проявляется в закономерном снижении содержания С в этой фракции (по сравнению с контролем) в вариантах с максимальной дозой удобрений как большинства полевых, так и модельных опытов (эффект «разбавления», графа 5).

Поскольку из сказанного выше ясно, что приращение общего Сорг. происходит, в первую очередь, за счет накопления легких фракций, весьма интересным представляется вопрос о том, какими могут быть масштабы этого накопления, на что можно рассчитывать, учитывая традиционный призыв к повышению содержания гумуса в почвах как одной из основ повышения их плодородия, с одной стороны, и возможность секвестрации избыточной концентрации диоксида углерода  $\text{CO}_2$  атмосферы путем перевода его в гумус, с другой стороны, возникшую в период глобального изменения климата в связи с парниковым эффектом. Приведенные выше данные

полевых опытов свидетельствуют о том, что эти возможности небеспредельны, более того, они ограничиваются довольно скромными величинами. Так, в вариантах длительных опытов, где применяли совместно минеральные удобрения и навоз в дозах, традиционных для производственных условий (до 20 т/га ежегодно в случае суглинистых почв или более высоких доз на легких по гранулометрическому составу почвах), прибавки общего Сорг. находятся в пределах 0,01-0,57 % к весу почвы. В изученных нами ранее дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах Москвы и Московской обл. (2 длительных стационарных опыта МСХА им. К.А.Тимирязева – старейший в России опыт проф. А.Г. Дояренко, заложенный в 1912 г. по инициативе акад. Д.Н. Прянишникова, и опыт академика И.С.Шатилова в Михайловском, заложенный в 1966 г., а также опыт Зеленоградского оп. п. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева, заложенный в 1972 г. прибавки общего Сорг. в вариантах с максимальной дозой удобрений составляли соответственно 0,38 (неопубликованные данные), 0,36 [6] и 0,34 % к весу почвы [8] по сравнению с контролем. Следует отметить, что новый уровень содержания Сорг. устанавливается в первые 5-10 лет и далее (при сохранении агротехнического режима) практически не изменяется [5].

Весьма показательными для суждения о максимально возможном накоплении органического вещества в пахотном слое почв являются полученные нами данные двух модельных опытов на лессовом черноземе Бад Лаухштедта: опыт с экстремальными дозами навоза (V 494, заложен в 1984 г.) и опыт V 503 (начат в 1986 г.), который лишь условно можно назвать модельным опытом, так как разница в содержании общего Сорг. почвы на отдельных участках была обусловлена длительным хранением подстилочного навоза и, периодически, взвеси жидкого навоза («колле») (1962 – 1984 гг.).

Ежегодное внесение навоза в дозах 50, 100 и 200 т/га, соответственно в 2,5, 5 и 10 раз более высоких, чем традиционные производственные дозы, обусловило установление к 1997 г. различных уровней содержания общего Сорг. Наибольшее увеличение отмечено в варианте с максимальной дозой навоза – 1,39 % к весу почвы. При этом масса суммы ЛФ возросла в 2,77, масса ЛФ1 – в 3,35 раза. Доля ЛФ в общем Сорг. почвы также увеличилась, но лишь в 1,7 раза, что объясняется сильным «разбавлением» общего органического вещества менее обуглерожеными, более молодыми соединениями (графа 3). В этом варианте модельного опыта было зафиксировано увеличение содержания С лабильной фракции, определенной с помощью окисления 333 мМ КМnO<sub>4</sub>, на 173 % по сравнению с вариантом без навоза (Blair et al., in press). Внесение 50 и 100 т/га навоза дало практически одинаковую прибавку Сорг. по сравнению с контролем (0,42 и 0,48 % к весу почвы), что сопоставимо с прибавкой в стационарном длительном опыте Бад Лаухштедта при внесении 15 т/га навоза совместно с NPK.

На месте хранения навоза при закладке опыта V 503 в 1986 г. (опыт имеет общую площадь 0,56 га, разбит на 105 делянок с 5 уровнями органического вещества) на некоторых участках содержание общего Сорг. в пахотном слое превышало 7 %. После 2 лет возделывания кукурузы содержание Сорг. снизилось до 3,13 % [19]. В последующие годы в опыте возделывали сахарную свеклу, озимую пшеницу, овес на зеленую массу, кукурузу и яровой ячмень. На выбранных нами контрастных участках (1997 г.) содержание общего Сорг. равнялось 1,79 и 3,85 % к весу почвы. Разница обеспечивалась увеличением массы ЛФ в 2,15 раза и доли С ЛФ в общем Сорг. почвы с 19,0 до 41 %. На более богатом Сорг. участке содержание С в ЛФ1 уменьшалось по сравнению с таковым ЛФ1 участка, не подверженного влиянию хранения навоза, за счет увеличения доли менее зрелого, более подвижного компонента. Данные немецких исследователей по содержанию углерода в горячей водной вытяжке подтверждают, что в органическом веществе участка, в большей степени затронутого навозом, преобладала легкотрансформируемая часть [19].

Резюмируя данные длительных модельных опытов, можно констатировать, что даже при экстремально высокой дозе навоза в 200 т/га ежегодно, что, естественно, не может быть заведомо рекомендовано для производственных условий из-за экономической неоправданности, прибавка общего Сорг. не превысила 1,5 % от веса почвы, а разница в содержании Сорг., образовавшаяся за 22 года хранения навоза, при распашке почвы опыта за 11 лет возделывания культур уменьшилась до 2,0 %. Изменение характера использования почвы нарушает сложившееся динамическое равновесие, что отражается на общем содержании Сорг. и содержании легкотрансформируемых компонентов органического вещества. Ранее было показано, что высокий уровень содержания органического вещества, поддерживавшийся длительным систематическим внесением удобрений, при отказе от них постепенно снижается. В случае вариантов, которые не получали удобрений, но с определенного момента стали удобряться максимально, происходит постепенное увеличение содержания гумуса, но также до определенной величины, свидетельствующей о приближении к новому равновесному уровню [1]. Во всех этих процессах участвуют, несомненно и в первую очередь, органические компоненты легких фракций, которые, не будучи связанными с глинистыми минералами, более интенсивно подвергаются химической и биологической трансформации. Более глубокое исследование компонентов легких фракций весьма желательно и перспективно, но ограничено в настоящее время отсутствием метода, позволяющего получение их в большем количестве по сравнению с оригинальным методом. Разработка такого метода представляется на современном этапе весьма актуальной и своевременной.

**Заключение.** На примере хорошо документированных полевых опытов России, Германии, Украины и Молдовы длительностью от 30 до 100 лет, расположенных в разных климатических зонах и на разных типах почв, характеризующихся различным гранулометрическим и минералогическим составом, показана чувствительность одного из основных слагающих гумус почв – органического вещества легких фракций, выделенных с помощью физического гранулометрического метода фракционирования почв Шаймухаметова М.Ш. и Травниковой Л.С. [15], к длительному применению органических и минеральных удобрений. Выявлены общие закономерности изменения массы суммы фракций и содержания в них Сорг., а также особенности ЛФ1 с плотностью менее 1,8 г/см<sup>3</sup>, отражающие по меньшей мере их 2-компонентный состав. Высказана потребность в разработке нового варианта метода, который позволил бы, не нарушая принципа фракционирования, получать не менее 500-1000 мг фракции ЛФ1 для обеспечения ее всестороннего исследования современными физико-химическими методами.

#### Литература

1. Кершенс М., Шульц Э., Титова Н.А. Динамика гумуса в лессовых черноземах. // Почвоведение. 2002. № 5. С. 601-606.
2. Кононова М.М., Шевцова Л.К., Орлов Д.С., Шаймухаметов М.Ш. Некоторые вопросы проблемы органического вещества почвы // Изв. АН СССР, сер. биол., 1979. № 1. С. 145 – 150.
3. Лейн З.Я. К вопросу о формах связи гумуса с минеральной частью почв // Почвоведение. 1940. № 10. С. 41-57.
4. Почвоведение на рубеже веков (от редколлегии) // Почвоведение. 2000. № 1. С. 5.
5. Титова Н.А. История и современные подходы к определению оптимального содержания и состава органического вещества пахотных почв, обеспечивающих их устойчивое развитие // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева. М., 2003. С. 496-521.
6. Титова Н.А., Кузавова Ю.В. Состав органического вещества тонкодисперсных частиц дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности // Органическое вещество пахотных почв. Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева. М., 1987. С. 69-75.
7. Титова Н.А., Травникова Л.С., Котут Б.М., Кершенс М. Органическое вещество и проблема устойчивости почв в XXI в.: Соотношение и состав активной и инертной частей органического вещества черноземов длительных полевых опытов // Современные проблемы почвоведения. Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева. М., 2000. С. 369-383.
8. Титова Н.А., Травникова Л.С., Кузавова Ю.В., Володарская И.В. Состав компонентов тонкодисперсных частиц пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1989. № 6. С. 89-97.
9. Титова

Н.А., Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш. Развитие исследований по взаимодействию органических и минеральных компонентов почв // Почвоведение. 1995. № 5. С. 639-646. 10. Титова Н.А., Шаймухаметов М.Ш. Органическое вещество денсиметрических фракций длительно удобряемых черноземов, темно-серых лесных и дерново-подзолистых почв // Роль органического вещества в формировании почв и их плодородия. Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1989. С.140-149. 11. Травникова Л.С. Закономерности гумусоаккумуляции: новые данные и их интерпретация // Почвоведение. 2002. № 7. С. 832-843. 12. Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш. Продукты органо-минерального взаимодействия и устойчивость почв к деградации // Современные проблемы почвоведения. Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. М., 2000. С. 356-368. 13. Хан Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. М.: Наука, 1969. 142 с. 14. Шаймухаметов М.Ш., Титова Н.А., Травникова Л.С., Лабенец Е.М. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131-141. 15. Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С. Способ извлечения из почвы поглощающего комплекса. Авторское свидетельство № 1185238. Госком СССР по делам изобретений и открытий. Заявка № 3732977. Приоритет изобретения 30.03.1984. 16. Blair N., Faulkner R.D., Till A.R., Korschens M., Schulz E. The impact of long-term management practices on soil physical fertility, carbon fractions and nitrogen. II. Bad Lauchstadt static experiment and extreme manure experiment (in press). 17. Hsieh Y.P. Dynamics of soil organic matter formation in croplands - conceptual analysis // Sci. Total Environ., 1989. Vol. 81-82. P. 381-390. 18. Hsieh Y.P. Identifying the pool size and turnover time of stable soil organic matter in croplands by a  $^{14}\text{C}$ -method // Trans. 14<sup>th</sup> Congr. of ISSS, Kyoto, Japan, 12-18 Aug. 1990. Japan, 1990. P. 493-494. 19. Korschens M., Pfefferkorn A. Bad Lauchstadt. Der Statische Dungsversuch und andere Feldversuche. - The Static Fertilization Experiment and other Long-Term Field Experiments. Herausgeber UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH. September 1998. 56 S. 20. Sauerbeck D., Johnen B. Root formation and decomposition during plant growth // Intern. Symp. on Soil Organic Matter Studies. Braunschweig, FRG, 1976. 21. Travnikova L.S., Titova N.A., Kogut B.M., Schulz E., Korschens M. Evaluation of the different soil organic matter (SOM) pools stability in long term field experiments of Germany by physical fractionation // Arch. Acker-Pfl. Boden. 2002. Vol. 48. P. 565-576.

Отличительной особенностью черноземов Поволжья является невысокое содержание азотистых соединений в первой фракции гуминовых кислот (4,5-6,7%). Основная часть (60-72%) азота гумуса представлена соединениями фракции 2 гуминовых кислот, предположительно связанных с кальцием.

Использование в опытах удобрений и микробной биомассы, меченых  $^{15}\text{N}$ , позволило проследить за направленностью процесса иммобилизации азота и количественно определить величину его закрепления в составе гумусовых соединений. Установлено, что влияние азота удобрений на иммобилизационно-мобилизационные процессы определяется характером использования почв, видом удобрения и погодными условиями.

В пахотном черноземе закреплялось азота микробной биомассы в органическом веществе меньше, чем в целинном аналоге. Первоначальное закрепление внесенного азота происходило в наиболее простых по своему строению органических соединениях. Но уже к концу первого года иммобилизованный азот обнаруживался во всех группах и фракциях органического вещества. При этом относительное содержание  $^{15}\text{N}$  в подвижных фракциях гумусовых кислот (ГК-1, ФК-1а и ФК-1) целинного чернозема было большим, чем в пахотном. Сам факт обнаружения  $^{15}\text{N}$  во всех фракциях гумусовых соединений свидетельствует о высокой скорости процесса закрепления и о направленности его в сторону образования более сложных соединений.

В зависимости от вида удобрений абсолютное и относительное содержание иммобилизованного азота было различным. Наибольшее количество азота зеленой массы бобового сидерата закреплялось во фракциях ГК-1 и ФК-1, соломы - во фракциях ГК-2 и ФК-2. В первый год в состав подвижных форм органического вещества включалось в 1,5-4,0 раза больше внесенного  $^{15}\text{N}$  по сравнению с его немечеными формами. После уборки первой культуры 9-38% внесенного азота было обнаружено в составе легкоразлагаемого органического вещества ( $N_{\text{лов}}$ ) и 8-42% в лабильных гумусовых кислотах ( $N_{\text{гл}}$ ).

К концу четвертого года содержание меченого азота уменьшалось, а его количество во фракциях и группах гумуса изменялось. Максимальное снижение отмечено в группе фульвокислот, что подтверждает большую степень подвижности иммобилизованного азота в этой группе органического вещества почвы, минимальное - в группе гуминов. По видимому, уменьшение содержания иммобилизованного азота во фракциях и группах гумуса обусловлено рядом факторов: использованием его растениями, минерализационными потерями, а также обнижением процессов трансформации вновь внесенного азота с процессами трансформации природного азота почвы.

В исследуемых почвах большая часть органического азота представлена негидролизующими и трудногидролизующими соединениями (88,5-90,5 %). Наиболее высокое содержание азота этих фракций отмечается в типичных черноземах, далее идут выщелоченные и оподзоленные. Это позволяет заключить, что азот органического вещества черноземов лесостепи дифференцирован по устойчивости к гидролизу, что определяет их региональные особенности к высвобождению минерального азота.

## АЗОТ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЧЕРНОЗЕМАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е.В. Надежкина, д. б. н., Пензенская ГСХА

Около 90% общего количества азота в черноземах лесостепи Среднего Поволжья сосредоточено в специфических гумусовых веществах. Это несколько больше, чем в черноземах Татарии [1] или ЦЧО [2], но несколько меньше, чем в черноземах Предуралья [4, 5] или Западной Сибири [3]. Остальной органический азот представлен неспецифическими соединениями (аминокислотами, аминокислотами, моноамидами и др.) и легкоразлагаемым органическим веществом типа детрита, соответственно, 5,0-5,2 и 3,4-4,3%. Содержание углерода и азота в подтипах чернозема представлено в таблице.

Содержание углерода и общего азота в подтипах чернозема целинны (1) и пашни (2) центральной лесостепи Приволжской возвышенности

Показатель		Оподзоленный, n=28	Выщелоченный, n=42	Типичный, n=21	
Содержание в слое 0-20 см, %	C	4,63±0,57 (1)	6,50±0,68	6,06±0,62	
		3,22±0,29 (2)	5,20±0,43	4,96±0,41	
		0,39±0,04 (1)	0,52±0,05	0,52±0,04	
		0,27±0,04 (2)	0,42±0,03	0,42±0,03	
C:N в слое 0-20 см		11,7±0,8	12,4±1,0	11,7±0,8	
Залужка, т/га в слое, см	0-20	C	77±6,5	116±9,5	114±9,0
		N	6,1±0,7	9,5±1,1	9,7±0,8
	0-50	C	156±13,7	245±23,8	238±18,5
		N	14,4±1,2	22,1±2,1	22,1±2,0
	0-100	C	223±14,2	345±19,3	356±17,7
		N	22,5±1,9	35,3±2,2	36,6±2,6

### Литература

- Адерихин П.Г., Щербakov А.П. Азот в почвах Центрально-черноземных областей // Биол. науки. 1970. - № 6. - С. 3-15.
- Винокуров М.А., Алпатов Р.А. Состав гумуса в почвах Татарской республики // Почвоведение. 1948. - № 8. - С. 489-494.
- Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. - 266 с.
- Хабиров И.К. Экология и биохимия азота в почвах Приуралья. Уфа: УИЦ РАН, 1993. - 224 с.
- Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. - 203 с.