

УДК 631.417

## СОСТАВ МИКРОАГРЕГАТОВ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИВОЛЖСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Т.М. СИЛЁВА<sup>1</sup>, З.С. АРТЕМЬЕВА<sup>2</sup>, И.М. РЫЖОВА<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова; <sup>2</sup>РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*Исследован состав микроагрегатов черноземов Приволжской лесостепи разного гранулометрического и минералогического состава. Показано, что более 90% органического вещества целинных черноземов физически защищено от разложения за счет включения в состав микроагрегатов. Степень микроагрегированности почвенной массы возрастает с утяжелением гранулометрического состава почвы. В составе лигандной фазы илистых фракций, входящих в состав микроагрегатов верхней части гумусового горизонта, преобладают иллиты (58—71% от суммы минералов), смектитовая фаза представлена слюда-смектитовыми смешанослойными образованиями, доля которых в составе минералов составляет 22—36%, содержание каолинитов и хлоритов в сумме не превышает 12%.*

*Ключевые слова: органическое вещество почвы, грануло-денсиметрическое фракционирование, легкие фракции, свободное и агрегированное органическое вещество, крупные и мелкие микроагрегаты, органо-глинистые комплексы.*

В настоящее время в почвоведении большое внимание уделяется изучению механизмов физической защиты органического вещества (ОВ) почв от разложения в результате взаимодействия с глинистыми минералами и включения ОВ в состав агрегатов [7, 8, 15, 28, 29].

Предыдущими исследованиями [1—4, 10, 11, 14] было установлено, что для целинных черноземов характерна микроагрегированность тонких частиц до пылеватых размеров. Количество и прочность микроагрегатов увеличиваются с утяжелением гранулометрического состава почвы.

Полагают, что формирование микроагрегатов различной прочности зависит от соотношения и свойств их органических и минеральных компонентов. Оптические исследования с использованием техники с высокой разрешающей способностью показали, что значительная часть микроагрегатов состоит из ядер, представленных органическим веществом (фрагментов микробной и растительной биомассы, гифов грибов, продуктов их жизнедеятельности), окруженных органо-глинистыми частицами, защищающими его от микробной атаки [20, 32-34].

Роль различных органических веществ в формировании микроагрегатов почвы очень велика. Органо-минеральные взаимодействия влияют на динамику ОВ почвы и участвуют в формировании и стабилизации агрегатов почвы. В формировании водопропрочных агрегатов могут принимать участие различные компоненты, составляющие органическое вещество почвы: органические соединения неспецифической природы (полисахариды, полиурониды, слизистые вещества микробного происхож-

дения, белковые вещества, битумы, смолы, лигнин), а также собственно гумусовые вещества — гуминовые и фульвокислоты. Все это свидетельствует о том, что устойчивость межагрегатного и внутриагрегатного органического вещества должна существенно различаться [2, 5, 9, 14, 17-19, 20, 22, 23, 26-29, 30, 31, 34].

Большинство работ, посвященных изучению механизмов связывания почвенной массы в агрегаты, направлено на выявление роли органической составляющей, и чрезвычайно мало исследований, касающихся роли отдельных минеральных фаз в этом процессе. Современный обзор проблемы [5, 24] показывает, что наиболее успешное изучение условий и механизмов агрегирования возможно лишь на микроуровне с помощью физического фракционирования почвы и анализа каждой фракции.

Цель исследования — изучение состава микроагрегатов целинных черноземов в зависимости от их гранулометрического и минералогического состава. В соответствии с поставленной целью в задачи исследования входило: 1) выделение гранулоденсиметрическим методом микроагрегатов различного размера и разной степени устойчивости к воздействию ультразвука; 2) качественная и количественная характеристика органических компонентов, входящих в состав микроагрегатов различной механической прочности; 3) установление содержания и минералогического состава илистых фракций, участвующих в формировании микроагрегатов.

### Методика исследования

Объектом исследования послужили черноземы степных участков заповедника «Приволжская лесостепь», сформированные на породах разного генезиса минералогического и гранулометрического состава: чернозем неполноразвитый супесчаный на элювии палеогеновых песчаников (степной фрагмент участка «Кунчеровская лесостепь»), чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый на элювиально-делювиальных глинах («Попереченская степь») и чернозем типичный легкоглинистый на тяжелых лессовидных суглинках («Островцовская степь») [6]. Подробная характеристика условий почвообразования и данные о химических свойствах, гранулометрическом и минералогическом составе исследуемых почв приведены нами в статьях [9-11]. Предварительные исследования показали наличие микроагрегатов различной устойчивости в черноземах заповедника (табл. 1).

Даже после обработки 10%НС1 значительное количество микроагрегатов размера крупной пыли остались неразрушенными. Изучению этого явления посвящены наши исследования.

Для разделения микроагрегатов различной механической прочности использовано 15-минутное воздействие ультразвука (УЗ) на почвенную суспензию. В соответствии с концепцией устойчивости микроагрегатов [15, 25] компоненты, выделяемые с помощью непродолжительной (5-15 мин) ультразвуковой обработки, являются составляющими *крупных (неустойчивых в УЗ-поле) микроагрегатов* размером 50-250 мкм. Компоненты остатка почвы после их выделения входят в состав *мелких (устойчивых в УЗ-полс^ микроагрегатов* размером 1-50 мкм.

Для оценки состава и свойств компонентов микроагрегатов использовали модифицированный метод грануло-денсиметрического фракционирования почв [12, 17]. Метод позволяет выделить три основные группы органических и органоминеральных составляющих почвы: а) группу постмортальных остатков растительного и животного происхождения и микробной биомассы; б) группу металлгуми-

## Количество микроагрегатов в черноземах заповедника «Приволжская лесостепь»

Почва	Горизонт, см	Фракция, мм	Способы диспергации	
			стандартный*	10% НСГ
Чернозем неполно-развитый	A1' 12-23	0,25-0,05	75	0
	A1" 23-45		61	0
	AC 45-58		55	0
	D 92-140		0	0
Чернозем типичный	A1' 10-37	0,25-0,05	48	5
	A1" 37-70		53	3
	AB ca 80-110		30	0
	BC ca 110-120		5	0
Чернозем выщелоченный	A1' 8-20	0,25-0,05	15	10
	A1" 51-59		13	7
	BC ca 108-130		0	0
Чернозем неполно-развитый	A1' 12-23	0,05-0,01	42	18
	A1" 23-45		40	15
	AC 45-58		30	12
	D 92-140		0	0
Чернозем типичный	A1' 10-37	0,05-0,01	29	19
	A1" 37-70		26	15
	AB ca 80-110		26	13
	BC ca 110-120		34	10
Чернозем выщелоченный	A1' 8-20	0,05-0,01	33	23
	A1" 51-59		45	25
	BC ca 108-130		28	15

\* Диспергация разминанием в течение 15 мин в фарфоровой ступке пестиком с резиновым накопником до отмучивания по методу Горбунова (% от суммы частиц данного размера).

\*\* Дополнительная обработка 10% НСГ для разрушения микроагрегатов после стандартного способа диспергации (% от суммы частиц данного размера).

новых комплексов; в) группу органо-глинистых комплексов. Первые две, не связанные прочными химическими связями с минеральной матрицей почвы и входят в состав более легких фракций с плотностью  $< 2,0 \text{ г/см}^3$  (ЛФ), последняя представлена иллистыми частицами с плотностью  $> 2,0 \text{ г/см}^3$  (ИЛ).

В соответствии с методикой после 15-минутной УЗ обработки почвенной суспензии из почвы выделяется основная масса ила (легкодиспергируемый ил плотностью  $> 2 \text{ г/см}^3$ ), после чего с помощью тяжелой жидкости (плотностью  $< 2 \text{ г/см}^3$ ) отделяются дискретные частицы ОВ (ЛФ). Последние с помощью сита разделяются на под фракции крупнее и мельче 50 мкм. Выбор размера сита обусловлен тем, что позволяет отделить ОВ пылеватого размера от более крупных его частиц. Исследования гранулометрических фракций показали [21], что ОВ пылеватого размера содержит селективно сохраненный и микробиологически трансформированный раститель-

ный материал. Оно представлено в основном собственно гумусовыми веществами и частично продуктами неполной гумификации органических остатков, часто включает в себя также углистые частицы. Органическое вещество этих фракций отличается *высокой степенью устойчивости к разложению*. Фракции органического вещества более крупного размера (песчаные) концентрируют в основном остатки растительности и почвенной фауны низкой и средней стадии разложения.

Было показано [5, 12], что основную массу ЛФ > 50 мкм составляет неагрегированное ОВ (ЛФ<sub>СВ</sub>), в то время как более мелкие частицы входят в состав микро-частиц (ЛФагр) и представляют собой сумму компонентов ЛФ (< 1,8 г/см<sup>3</sup>, размером < 50 мкм) + ЛФ (1,8-2,0 г/см<sup>3</sup>).

Компоненты *мелких (устойчивых)* микроагрегатов входят в остаток после выделения из почвы составляющих *крупных (неустойчивых)* микроагрегатов. Состав их был изучен путем разделения остатка почвы на фракции тонкой, средней и крупной пыли с последующим выделением из первых двух илистых фракций методом разминания (ИЛ<sub>2</sub> и ИЛ<sub>3</sub>).

Были проведены дополнительные исследования по фракционированию остатка почвы. После выделения ИЛ<sub>1</sub> и ЛФ из остатка получали фракции 1-50 и 50-250 мкм. Поскольку при визуальном просмотре оказалось, что в последней крайне незначительна масса темноокрашенного вещества, которое было представлено дискретными частицами, дальнейшему фракционированию были подвергнуты только фракции пылеватого размера. Из них после 10-минутной обработки суспензии ультразвуком были выделены илистые частицы (< 1 мкм).

Таким образом, неагрегированная масса почвы представлена песчаной фракцией и ЛФ<sub>СВ</sub>.

Агрегированная масса делится на *крупные* размером 50-250 мкм (*неустойчивые в УЗ-поле*) к *мелкие* размером <50 мкм (*устойчивые в УЗ-поле*) микроагрегаты.

Общий углерод и углерод органо-минеральных фракций определяли методом мокрого сжигания по Тюрину в модификации, принятой в лаборатории биохимии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием метода дисперсионного анализа, при помощи программного пакета Microsoft Office Excel 2010 г.

## Результаты и их обсуждение

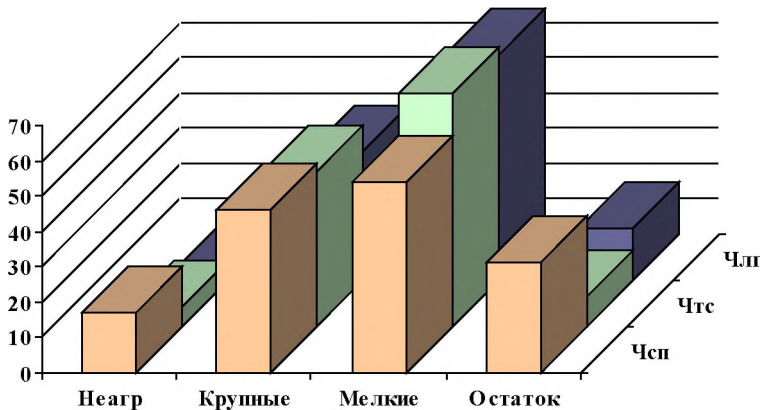
Нами было проанализировано соотношение в изученных образцах следующих компонентов: неагрегированной массы (песок и ЛФ<sub>СВ</sub>), агрегированной (*крупные* и *мелкие* микроагрегаты) и остатка.

В целом *большая часть почвенной массы агрегирована*. Сумма агрегатов составляет от 48% в наиболее легком по гранулометрическому составу супесчаном черноземе до 80% в тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе (% на массу почвы). Содержание неагрегированной массы в супесчаном черноземе превышает таковое в образцах более тяжелых по гранулометрическому составу за счет фракции песка (17,1, 2,7 и 5,6 % на массу почвы соответственно) (табл. 2).

Среди агрегированной массы во всех почвах *преобладают мелкие (устойчивые)* микроагрегаты (53-66% суммы агрегатов), причем их количество максимально в тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе. Остаток составляет от 8 до 31% на массу почвы (табл. 2; рисунок).

**Характеристика неагрегированной массы и агрегатов черноземов заповедника «Приволжская лесостепь», % на массу почвы**

Почва	Горизонт	Неагрегированная масса			Микроагрегаты			Остаток	Сумма фракций
		ЛФ <sub>св</sub>	песок	сумма	мелкие	крупные	сумма		
Чернозем супесч.	A'	0,27	16,9	17,17	26,10	22,20	48,3	31,40	96,87
Чернозем тяжело-суглинистый	A'	0,49	2,2	2,69	50,40	29,50	79,9	14,90	97,49
Чернозем легкоглинистый	A'	0,63	5,0	5,63	47,90	34,60	72,5	8,30	85,63



**Характеристика неагрегированной массы и агрегатов A'-горизонтов черноземов заповедника «Приволжская лесостепь» (% на массу почвы)**

#### *Состав компонентов неустойчивых микроагрегатов*

В таблице 2 приведены результаты определения масс компонентов, входящих в состав *крупных* (неустойчивых в УЗ-поле) микроагрегатов.

В исследованных черноземах содержание крупных микроагрегатов довольно значительно: оно колеблется в пределах от 22 до 35% на массу почвы (табл. 2). Преобладающим компонентом их является илистая фракция (органо-глинистые частицы): на ее долю приходится больше 73-85% массы микроагрегатов (табл. 3). Масса ЛФ существенно меньше (в основном 16-26% на массу микроагрегатов).

Сравнительный анализ полученных данных представленного ряда черноземов позволил выявить следующие закономерности. Во-первых, в рассмотренном ряду

**Масса фракций компонентов крупных (неустойчивых) микроагрегатов**

Почва	Горизонт	ЛФАГР		ИЛ <sub>1</sub>		Сумма
		а	б	а	б	а
Чернозем супесчаный	А'	5,93	26,7	16,3	73,4	22,2
Чернозем тяжелосуглинистый	А'	4,41	14,9	25,1	85,1	29,5
Чернозем легкосуглинистый	А'	5,57	16,1	29,0	83,8	34,6

а — % на массу почвы; б — % на массу микроагрегатов. ЛФАГР представляет собой сумму фракций [ЛФ(< 1,8 г/см<sup>3</sup>, < 50 мкм) + ЛФ (1,8-2,0 г/см<sup>3</sup>)].

черноземов масса *крупных* (неустойчивых в УЗ-поле) микроагрегатов увеличивается с утяжелением гранулометрического состава почв от неполноразвитого супесчаного («Кунчерово») на элювии палеогеновых песчаников к чернозему типичному легкосуглинистому на тяжелых лессовидных суглинках («Островцовская степь»). Во-вторых, с утяжелением гранулометрического состава в рассмотренном ряду черноземов доля легкодиспергируемого ила (ИЛ<sub>1</sub>) в составе *крупных* микроагрегатов увеличивается: в черноземе типичном и выщелоченном количество ИЛ, на 10% выше по сравнению с черноземом неполноразвитым. Это сопровождается уменьшением вклада органической компоненты в составе крупных микроагрегатов: доля ЛФАГР, почти в 2 раза выше в супесчаном черноземе по сравнению с более тяжелыми по гранулометрическому составу черноземами (26,7% против 15—16% соответственно).

*Состав компонентов устойчивых микроагрегатов*

При изучении состава микроагрегатов различной механической прочности некоторые авторы [15,25] пришли к выводу, что микроагрегаты, устойчивые в УЗ-поле, состоят из глинистых минералов и гумифицированного органического вещества. Выводы были основаны на данных химического (С и N) и ИК-спектроскопического анализов крупных фракций, выделяемых вслед за илистой методом дробной пептизации. Это позволяло предполагать, что с помощью принятой нами системы методов можно попытаться выделить гумифицированное ОВ с помощью тяжелых жидкостей. Однако эта попытка не увенчалась успехом. Можно предполагать, что в состав устойчивых (мелких) микроагрегатов входят частицы ОВ качественно иного (по сравнению с ОВ неустойчивых (*крупных*) микроагрегатов) состава, и (или) в их формировании участвуют иные связующие агенты (например, карбонаты, оксиды) и соответственно механизмы, обеспечивающие их высокую механическую прочность. Поэтому мы ограничимся характеристикой илстых частиц, извлекаемых из фракций тонко- и среднепылеватого размеров, входящих в состав устойчивых (мелких) микроагрегатов (табл. 4).

Выявлено, что в рассмотренном ряду черноземов общее количество труднодиспергируемого ила (ИЛ<sub>2</sub> + ИЛ<sub>3</sub>) возрастает с утяжелением гранулометрического состава почв: от чернозема супесчаного (менее 5%) к более тяжелым (почти 8% на массу почвы). Величина его долевого участия в общем количестве илстых частиц,

**Содержание илстых частиц в А' горизонтах черноземов  
в микроагрегатах разной степени устойчивости к УЗ воздействию**

Почва	Крупные		Мелкие						Сумма частиц <1 мкм
	ИЛ <sub>1</sub>		ИЛ <sub>2</sub>		ИЛ <sub>3</sub>		ИЛ <sub>2</sub> + ИЛ <sub>3</sub>		а
	а	б	а	б	а	б	а	б	
Чернозем супесчаный	16,4	76,6	0,1	0,5	4,9	22,9	5	23,4	21,4
Чернозем тяжелосуглини- стый	25,1	75,8	0,05	0,2	7,95	24,0	8	24,2	33,1
Чернозем легкоголинистый	29	78,6	0,1	0,3	7,8	21,1	7,9	21,4	36,9

а — % на массу почвы; б — % от суммы частиц < 1 мкм.

выделенных из почв (ИЛ<sub>1</sub> + ИЛ<sub>2</sub> + ИЛ<sub>3</sub>), колеблется в пределах 21-24% от суммы частиц < 1 мкм.

Количество илистой фракции, входящей в состав микроагрегаты тонкопылеватого размера (ИЛ<sub>2</sub>), невелико (< 1% на массу почвы), что составляет всего лишь 0,2-0,5% от всех илстых частиц, выделенных из почвы.

Количество илистой фракции, входящей в состав микроагрегатов размером средней пыли (ИЛ<sub>3</sub>), в отличие от ИЛ<sub>2</sub>, более значительно — 4,9-8% на массу почвы, что составляет 21-24% от всех илстых частиц, выделенных из почвы.

Таким образом, в формировании *мелких* (устойчивых в УЗ-поле) микроагрегатов участвует почти четверть илстых частиц почв, причем основная роль принадлежит частицам, составляющим ИЛ<sub>3</sub> (ил, выделенный из фракции 5-10 мкм путем разминания после удаления ИЛ<sub>1</sub> и ИЛ<sub>2</sub>).

Был проведен сравнительный анализ компонентов, составляющих *крупные* (неустойчивые) и *мелкие* (устойчивые) микроагрегаты, по трем критериям: по степени обогащенности их углеродом, азотом и путем сопоставления содержания групп глинистых минералов, входящих в состав илстых фракций (ИЛ<sub>1</sub>, ИЛ<sub>2</sub>, ИЛ<sub>3</sub>).

В таблице 5 приведены результаты, иллюстрирующие распределение органического углерода (С<sub>орг</sub>), аккумулированного компонентами микроагрегатов различной механической устойчивости верхних горизонтов черноземов.

Выявлено близкое для верхних гумусовых горизонтов изученных черноземов соотношение между количеством углерода, аккумулированного в составе *крупных* (неустойчивых) и *мелких* (устойчивых) микроагрегатов. В горизонтах А' доли углерода как неустойчивых, так и устойчивых микроагрегатов колеблются в очень узких пределах — 43-44 и 56-57% от С<sub>общ</sub> соответственно. Таким образом, большая часть ОВ верхних гумусовых горизонтов входит в состав устойчивых (*мелких*) микроагрегатов, защищающих его от интенсивной деградации.

В распределении С<sub>орг</sub> между устойчивыми микроагрегатами размером <10 мкм и более крупного размера (> 10 мкм — это частицы остатка после выделения ИЛ<sub>2</sub> и ИЛ<sub>3</sub>) также наблюдается определенная закономерность. В *мелких* (устойчивых) агрегатах тяжелых по гранулометрическому составу черноземов, в отличие от черно-

**Долевое участие  $C_{орг}$  составляющих микроагрегатов, не устойчивых и устойчивых к воздействию УЗ (% от  $C_{общ}$ ) в горизонтах А' черноземов**

Компоненты микроагрегатов	Чернозем		
	супесчаный	тяжелосуглинистый	легкоглинистый
<i>Крупные (неустойчивые) микроагрегаты</i>			
Сагр	19	26	15
$C_{ИЛ1}$	25	17	29
$Сагр + C_{ИЛ1}$	44	43	44
<i>Мелкие (устойчивые) микроагрегаты</i>			
< 10мкм $C_{ИЛ2} + C_{ИЛ3}$	21	33	30
> 10 мкм	35	24	26
Сумма	56	57	56

зема супесчаного,  $C_{орг}$  сосредоточен во фракциях <10 мкм. Так, в горизонтах А' тяжелосуглинистого и легкоглинистого черноземов доля  $C_{орг}$  микроагрегатов <10 мкм составляет 30 и 33% против 24 и 26% от  $C_{общ}$  (для частиц > 10 мкм). Интересно отметить, что основная часть  $C_{орг}$  устойчивых микроагрегатов размером <10 мкм (более 85% от  $C_{общ}$ ) этой группы сосредоточена во фракции средней пыли (5-10 мкм), на долю тонко пылеватой фракции приходится 10-15%, на частицы остатка < 4% от  $C_{общ}$ .

Таким образом, в верхних гумусовых горизонтах типичного и выщелоченного черноземов в составе группы устойчивых микроагрегатов максимальное количество углерода сосредоточено в частицах <10 мкм и преимущественно размером 5-10 мкм.

В таблице 6 приведены результаты определения *содержания и величины отношения углерода и азота* в составе ОВ различной локализации: в свободном органическом веществе ( $ЛФ_{СВ}$ ), в составе *крупных* (неустойчивых) микроагрегатов ( $ЛФ_{агр} + ИЛ_1$ ), в составе *мелких* (устойчивых) микроагрегатов ( $ИЛ_2$ ) и во фракции остатка.

*ОВ крупных* (неустойчивых в УЗ-поле) *микроагрегатов*. Органическое вещество  $ЛФ_{агр}$  — это тонкодисперсная смесь органических остатков различной степени минерализации-гумификации, составляющая ядро микроагрегатов [5].

Экстрагируемая фракция дискретных частиц ОВ ( $ЛФ_{,IP}$ ) практически нацело состоит из гуминовых кислот ( $C_{гк}/C_{фк} \sim 50$ ) — металлгуминовые комплексы. В целом ОВ  $ЛФ_{агр}$  обеднено азотом: средняя величина  $C/N = 14$  (13,7 и 15,1), что отражает заметное долевое участие в них слаборазложившихся органических остатков (табл. 6). В составе экстрагируемой части органо-глинистых частиц ( $ИЛ_1$ ), формирующих оболочку микроагрегатов такого рода, преобладают гуминовые кислоты  $C_{гк}/C_{фк} \sim 5$ , существенно обогащенные азотом: величина  $C/N$  колеблется в преде-



**Содержание и соотношение углерода и азота в составе ОБ различной локализации в почве, % на массу фракции. Горизонт А'**

Чернозем	Свободное ОБ			ОБ крупных микроагрегатов						ОБ мелких микроагрегатов					
	ЛФсв			ЛФагр			ИЛ <sub>1</sub>			ИЛ <sub>2</sub>			остаток		
	с	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N
Супесчаный	34,4	2,4	14,3	29,8	2,18	13,7	6,69	1,49	4,5	9,4	1,34	7	8	0,82	9,7
Тяжелосуглинистый	34,6	2,17	15,9	—	—	—	6,46	1,41	4,5	12,4	1,28	9,7	4,5	0,44	10,2
Глинистый	36	2,23	16,1	42,5	2,81	15,1	5,31	0,99	5,4	11	—	—	4,5	0,55	8,2

лах 4,5-5,5. Это указывает на незрелость гумусовых веществ, что, возможно, является следствием постоянного обновления состава гумуса этих фракций в условиях естественных ценозов [5].

*ОБ мелких (устойчивых в УЗ-поле) микроагрегатов.* Основные их компоненты представляют собой случайные смеси глинистых микроструктур (труднодиспергируемый ил), биополимеров и микроорганизмов [5]. В составе микроагрегатов этого рода сосредоточено 40-55%  $C_{орг}$  почв и значительная часть азота. Органическая фаза ИЛ<sub>2</sub> и ИЛ<sub>3</sub> обеднена азотом ( $C/N \sim 7-10$ ), что свидетельствует о большей степени зрелости.

С целью выяснения влияния *минеральной фазы илстых фракций* на уровень содержания в них С было изучено содержание глинистых минералов легко- (ИЛ<sub>1</sub>) и труднодиспергируемого (ИЛ<sub>2</sub>) ила, входящего в состав соответственно неустойчивых и устойчивых микроагрегатов (табл. 7).

Результаты рентгенометрического анализа показали, что состав глинистых минералов образцов ИЛ, всех исследованных черноземов однотипен и представлен четырьмя минеральными фазами: минералами смектитовой группы, иллитом, каолинитом и хлоритом. Минералы смектитовой группы представлены смешанослойными образованиями с высоким (> 50%) содержанием монтмориллонита (слюда-монтмориллонитовые минералы) (табл. 7).

Анализ приведенных в таблице 7 данных показывает, что в составе ИЛ, преобладают иллиты, составляющие 52-63% от суммы минералов фракции. Содержание слюда-монтмориллонитовых минералов заметно ниже (25-36%). Сумма каолинита и хлорита 10-12%. Минеральный состав ИЛ<sub>2</sub> отличается более низким уровнем содержания слюда-монтмориллонитов (22-24%) и повышенным — минералов с жесткой структурой (65-71%). Количество каолинита и хлорита в основном остается в тех же пределах (7-11%) (табл. 7).

Таким образом, при сравнении состава минералов легко- и труднодиспергируемых илов (соответственно ИЛ, и ИЛ<sub>2</sub>, входящих в состав *крупных* (неустойчивых) и *мелких* (устойчивых) микроагрегатов) обнаруживается общая для черноземов изученного ряда и заметно выраженная тенденция к снижению доли разбухающих (слюда-монтмориллонитовых) минералов и соответствующему увеличению

## Содержание глинистых минералов во фракциях легко- и труднодиспергируемого ила

Горизонт	Количество глинистых минералов, % от суммы минералов ила					
	ИЛ <sub>1</sub>			ИЛ <sub>2</sub>		
	слюда-сметиты	иллиты	каолиниты + хлориты	слюда-сметиты	иллиты	каолиниты + хлориты
<i>Чернозем супесчаный</i>						
A'	25	63	12	24	65	11
<i>Чернозем тяжелосуглинистый</i>						
A	32	58	10	22	67	11
<i>Чернозем легкоглинистый</i>						
A'	36	52	12	22	71	7

доли минералов с жесткой структурой в составе труднодиспергируемого ила. При этом максимально возрастает содержание иллитов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в формировании *крупных* (неустойчивых) и *мелких* (устойчивых) микроагрегатов принимают участие одни и те же глинистые минералы, однако в составе последних повышена доля минералов иллитового типа.

Как было показано выше, легко- и труднодиспергируемые илистые фракции отличаются также по концентрации в них С, Так, в верхнем гумусовом горизонте содержание углерода легкодиспергируемого ила (ИЛ<sub>1</sub>) изменялось от 17 до 29%, а труднодиспергируемого — от 21 до 33% (% от С<sub>общ</sub>). Сопоставление этих величин с данными по минералогическому составу тех и других фракций показывает, что повышение концентрации углерода в илистых фракциях сопровождается увеличением в его составе минералов жесткого типа, особенно иллита. Предыдущими исследованиями установлено [5, 13], что концентрация С<sub>орг</sub> в илистой фракции зависит от состава глинистых минералов, возрастая с увеличением содержания минералов жесткого типа и снижаясь с повышением количества минералов смектитового типа. Для данных почв это также оказалось справедливо (табл. 7).

### Заключение

В свободном состоянии (между крупными частицами и агрегатами) в изученных черноземах находится лишь незначительная часть ОВ (< 10%). Основная его масса (более 90%) входит в состав микроагрегатов, которые являются основой для формирования макроструктуры почв. Степень микроагрегированности почвенной массы и относительное количество *мелких* (устойчивых) микроагрегатов возрастает в ряду от чернозема на элювии песчаника к чернозему на глинистых отложениях.

Доли углерода *крупных* (неустойчивых) и *мелких* (устойчивых) микроагрегатов распределены между собой примерно поровну: в том и другом случае наблюдается варьирование в пределах 40-55%.

Основными компонентами *крупных* (неустойчивых) микроагрегатов являются легкие фракции и органо-глинистые комплексы. ЛФ представлены тонкодисперсной смесью органических остатков различной степени минерализации-гумификации. Илистая компонента крупных микроагрегатов — собственно гумусовые вещества, прочно связанные с глинистыми минералами. ОВ легких фракций обеднено азотом: средняя величина  $C/N = 14$ , что отражает заметное долевое участие в них слабо разложившихся органических остатков. Характерной чертой ОВ илистых фракций, входящих в состав *крупных* (неустойчивых) микроагрегатов (ИЛ<sub>1</sub>), является значительная обогащенность азотом, о чем свидетельствует низкое отношение  $C/N$  (4,5-5,4). Это указывает на незрелость гумусовых веществ, что, возможно, является следствием постоянного обновления состава гумуса этих фракций в условиях естественных ценозов.

В формировании *мелких* (устойчивых) микроагрегатов участвует значительная часть илистых фракций верхних гумусовых горизонтов (23,4-27,2% от общего количества выделенных из почвы частиц < 1 мкм). Более 90% массы этих частиц находится в составе микроагрегатов среднего и крупнопылеватого размера. Основным компонентом их являются органо-глинистые комплексы. В составе микроагрегатов этого рода сосредоточено 40-55% С почв и значительная часть азота. Органическая фаза органо-глинистых комплексов *мелких* (устойчивых) микроагрегатов обеднена азотом ( $C/N \sim 7-10$ ), что свидетельствует о большей по сравнению с таковой крупных микроагрегатов степени зрелости. ОВ, входящее в состав мелких микроагрегатов пылеватого размера, обладает максимальной устойчивостью к разложению, оно сформировано из конечных продуктов трансформации органического опада. Факторами, определяющими его устойчивость, являются: высокая степень зрелости ОВ ила и дискретных частиц, а также прочность связи между этими компонентами, которая зависит от соотношения глинистых минералов с разбухающей и жесткой структурой [5].

В составе минеральной фазы илистых фракций, являющихся компонентами *крупных* (неустойчивых) и *мелких* (устойчивых) микроагрегатов, преобладают иллиты, количество которых в верхнем гумусовом горизонте колеблется в пределах 58-63% и 65-71% от суммы минералов в ИЛ<sub>1</sub> и ИЛ<sub>2</sub> соответственно. Сметитовая фаза представлена слюда-сметитовыми смешанослойными образованиями, доля которых в составе минералов составляет 25-36% (ИЛ<sub>1</sub>) и 22-24% (ИЛ<sub>2</sub>), содержание каолинитов и хлоритов в сумме не превышает 12% от суммы минералов.

### Библиографический список

1. *Артемяева З.С., Травникова Л.С., Силева Т.М., Морзун Е.Г., Каплина О.В.* Особенности микроструктуры гумусовых горизонтов чернозема обыкновенного разных ценозов // Вестник МГУ 2005. Сер. 17. № 3. С. 31-34.
2. *Артемяева З.С., Силева Т.М.* Закономерности изменения компонентного состава микроструктуры черноземов Приволжской степи при их распашке // Черноземы России: экологическое состояние и современные почвенные процессы. Материалы Всерос. науч.-практич. конф. Воронеж, 2006. С. 194-200.
3. *Артемяева З.С., Васенев И.И., Силева Т.М.* Агроэкологическая оценка органо-минеральных фракций черноземов Приволжской лесостепи // Доклады ТСХА. 2007. Вып. 27. Ч. 2. С. 321-324.
4. *Артемяева З.С.* Особенности микроструктуры верхних горизонтов целинных и пахотных черноземов разного гранулометрического состава // Агрохимия. 2009. № 1. С. 5-10.

5. *Артемяева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М., 2010. 240 с.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 223 с.
7. *Кузнецова И.В.* Роль органического вещества в образовании водопрочной структуры дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1994. № И. С. 34-41.
8. *Кузнецова И.В.* Содержание и состав органического вещества черноземов и его роль в образовании водопрочной структуры // Почвоведение. 1998. № 1. С. 41-50.
9. *Рыжова П.М., Чернова О.В., Силёва Т.М., Чичагова О.А., Вьюненко А.В.* Гумусное состояние черноземов Приволжской лесостепи, сформированных на разных почвообразующих породах // Почвоведение. 2003. № 12. С. 1431-1439.
10. *Силёва Т.М., Чернова О.В.* Характеристика почв «Островского» и «Кунчеровского» участков заповедника «Приволжская лесостепь» // Тр. гос. заповедника «Приволжская лесостепь». Пенза, 1999. Вып. 1. С. 25-32.
11. *Силёва Т.М.* Особенности формирования минералогической основы черноземов Приволжской лесостепи // Экология и почвы. Избранные лекции X Всероссийской школы. Пушино; М., 2001. С. 320-325.
12. *Травникова Л.С., Артемяева З.С.* Физическое фракционирование органического вещества почв с целью изучения его устойчивости к биодеградации // Экология и почвы. Избранные лекции 10-й Всероссийской школы. Т. IV. Пушино, 2001. С. 337-346.
13. *Травникова Л.С.* Закономерности гумуса со накопления: новые данные и их интерпретация // Почвоведение. 2002. № 7. С. 832-843.
14. *Травникова Л.С., Силёва Т.М., Артемяева З.С.* Природа микроагрегатов черноземов Приволжской лесостепи // Тезисы IV Съезда общества почвоведов. Новосибирск, 2004. Кн. 2. С. 383.
15. *Шаймухаметов М.Ш.* Опыт использования ультразвука при изучении механизма закрепления органического вещества в почве // Почвоведение. 1974. № 5. С. 154-161.
16. *Шаймухаметов М.Ш., Девярых В.А., Коржуева Е.А.* Об эффективности ультразвукового диспергирования почв // Физико-химические аспекты почвенного плодородия. Сб. тр. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 1985. С. 22-28.
17. *Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С.* Способ извлечения из почвы поглощающего комплекса // Авт. свид. № 1185238. Госком СССР по делам изобретений и открытий. Заявка № 3732977. Приоритет изобр. 30.03.1984.
18. *Шаймухаметов М.Ш., Тутова Н.А., Травникова Л.С., Лабенец Е.М.* Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131-141.
19. *Amato M., Ladd J.N.* Decomposition of  $^{14}\text{C}$ -labelled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C // Soil Biol. Biochem. 1992. V. 24. P. 455-464.
20. *Chenu C., Puget P., Balesdent J.* Clay-organic matter associations in soils: microstructure and contribution to soil physical stability // In proceeding «16-th World Congress of Soil Science» Montpellier, 1998. Symp. 4. 1973.
21. *Christensen B. T.* Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates // Advances in soil sciences. 1992. V. 20. P. 1-90.
22. *Christensen B. T.* Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover // European Journal of Soil Science. 2001. V. 52. P. 345-353.
23. *Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P.* Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by  $^{13}\text{C}$  natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture // Aust. J. Soil Res. 1995. V. 33. P. 59-76.
24. *Degens B.P.* Macroaggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and factors affecting them // Austr. J. Soil. Res. 1997. V. 35. P. 431—459.
25. *Edwards A.P., Bremner J.M.* Microaggregates in soils // J. Soil Sci. 1967. V. 18. № 1. P. 64-73.

26. *Elliot E.T.* Aggregate structure and carbon nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils // Soil Science Society of America. 1986. V. 50. P. 627-633.
27. *Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P.* Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by C-NMR spectroscopy in density fractions of an Oxosol under forest and pasture // Aust. J. Soil Res. 1995. V. 33. P. 285-309.
28. *Hassink J.* Decomposition rate constants of size and density fractions of soil organic matter // Soil Sci. Soc. Am. J. 1995. V. 59. P. 1631-35.
29. *Oades J.M., Hatters A.* Aggregate hierarchy in soil Research // Aust. J. Soil Res. 1991. V. 29. P. 815-828.
30. *Oades J.M.* The retention of organic matter in soils // Biogeochem. 1988. V. 5. P. 35-70.
31. *Oades J.M.* The role of biology in the formation stabilization and degradation of soil structure // Geoderma. 1993. V. 56. P. 377-400.
32. *Puget P., Chenu C., Balesdent J.* Total and young organic matter distribution in aggregates of silty cultivated soils // European Journal of Soil Science. 1995. V. 46. P. 449-459.
33. *Six J., Paustian K., Elliott E. T., Combrink C.* Soil structure and organic matter // Soil Science Society of America. 2000. V. 64. P. 681-689.
34. *Tisdall A., Oades J.M.* Organic matter and water-stable aggregates in soils // Journal of Soil Science. 1982. V. 33. P. 141-163.

## THE MICRO AGGREGATES COMPOSITION OF CHERNOZEMS FROM PRIVOLGSKY FOREST-STEPPE

T.M. SILEVA<sup>1</sup>, Z.S. ARTEMYEVA<sup>2</sup>, I.M. RYZHOVA<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Moscow State University; <sup>2</sup> RSAU-MAA named after K.A. Timiryazev)

*The peculiarities of the microstructure of chernozems from Privolgskv forest-steppe with different granulometric and mineralogic composition were studied. It has been revealed that more than 90% of virgin chernozem's organic matter is physically protected from decay due to the fact that it is included into the microaggregates composition. The share of microaggregates increases with the rise of clay particles content in the soil. The mineral part of clay fractions, the components of microaggregates in the upper humic layer, contains predominantly illites (58-71% of total minerals sum), the share of smectites amounts to 22-36% and the sum of kaolinites and khlorites does not exceed 12%.*

*Key words: soil organic matter, densimetric separation of granules, light fractions, free ( $LF_{free}$ ) and occluded ( $LF_{occ}$ ) organic matter, coarse (unstable) and fine (stable) microaggregates, clay-organic complex.*

**Силёва Татьяна Михайловна** — к. б. н., старший преподаватель кафедры общего почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова (119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы; тел. 8 (903) 194-62-76; e-mail: tmsileova@yandex.ru).

**Артемьева Зинаида Семеновна** — д. б. н., профессор кафедры экологии РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел. 8 (903) 673-38-50; e-mail: artemyevazs@mail.ru).

**Рыжова Ирина Михайловна** — д. б. н., профессор кафедры общего почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы; тел. 8 (916) 905-31-89; e-mail: iryzhova@mail.m).