

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АГРОСЕРЫХ ПОЧВАХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

*Н. Х. Исмагилова*

Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии

На основе экспериментальных и литературных данных проведена оценка гумусового состояния пахотного слоя различно окультуренных типичных агросерых тяжелосуглинистых неэродированных почв центра Нечерноземной зоны России. Определены градации содержания гумуса, соответствующие различному уровню почвенного плодородия. Рассчитан оптимальный интервал содержания гумуса по его минимальному значению в неэродированных агросерых почвах региона и оптимальным пределам трансформируемого органического вещества. Показано, что при освоении серых почв под лесом в пахотном горизонте уменьшается содержание гумуса, фульвокислот, подвижных гуминовых кислот, экстрагируемых 0,1 н. NaOH, и резко увеличивается количество гуминовых кислот, связанных с Са, с повышением их оптической плотности и отношения к подвижным гуминовым кислотам до уровня в агрочерноземе. При дальнейшем окультуривании агросерых почв на фоне систематического внесения повышенных доз органических удобрений, наряду с увеличением содержания гумуса, происходят обратные изменения в соотношении указанных фракций гуминовых кислот. При этом заметно снижается оптическая плотность гуминовых кислот, связанных с глинистыми минералами, что указывает на процессы их обновления и обогащения алифатическими структурами. Обсуждены критерии отличия агросерых почв от агродерново-подзолистых почв и агрочерноземов по качеству гумуса в пахотном горизонте.

*Ключевые слова:* органическое вещество, состав гумуса, оптическая плотность, гуминовые кислоты, агросерые почвы.

Уровень содержания органического вещества в почвах является интегральным показателем плодородия, поскольку во многом определяет их физические, физико-химические, биологические и другие важные свойства. Для центра Нечерноземной зоны России вопросы изменения гумусового состояния и особенно качества гумуса агросерых почв под влиянием антропогенных факторов исследованы недостаточно, так как длительные опыты на этом типе почв в данном регионе практически отсутствуют. Требуется исследования вопрос об оптимальном уровне и качестве гумуса при котором возможна реализация биоклиматического потенциала культур. Это важно не только для обеспечения высоких урожаев, но и с экологической и экономической точек зрения. Актуально уточнение градаций со-

держания гумуса в пахотном горизонте агросерых почв для оценки их плодородия.

Проведен анализ экспериментальных, литературных и отчетных данных исследования гумусового состояния пахотного слоя различно окультуренных типичных агросерых неэродированных почв, главным образом тяжелосуглинистых, в целях оценки содержания гумуса и его качества, направленности изменений при освоении и дальнейшем окультуривании в зависимости от агротехники и удобрений, а также выявления качественных показателей, отражающих окультуренность и плодородие почвы (Алифанов, 1979; Бондарев, Силаков, 1993; Дубровина, 1988; Дьяконова и др., 1994; Карманов и др., 1991; Почвы Московской области..., 1974, 2002; Силаков, 1990 и др.).

Основной базой исследований были агросерые почвы хозяйств с различным уровнем агротехники и применения удобрений в Заокской части Московской области в Озерском и Каширском районах, данные почвенных и агрохимических обследований, проведенных Почвенным институтом им. В.В. Докучаева в совхозе-техникуме «Богословское» на территории Тульской области, агросерые почвы Владимирского ополья.

Для сравнения теми же методами исследовали содержание и качество гумуса в пахотном слое (0–25 см) агрочернозема Петринского опорного пункта Почвенного института при органо-минеральной системе удобрения в севообороте и на варианте без удобрений под монокультурой картофеля в многолетнем опыте.

Основными методами аналитических исследований являлись: анализ общего содержания органического углерода в почвах и вытяжках микрометодом Тюрина в модификации Дьяконовой (1977), анализ группового и фракционного состава гумуса как по ускоренной схеме Кононовой и Бельчиковой (1961), так и с использованием расширенных ее модификаций, при которых применялись последовательные однократные и исчерпывающие вытяжки для непосредственного определения содержания и качества химически подвижной фракции 1, экстрагируемой 0,1 н. NaOH, более прочно закрепленной минеральной частью почвы фракции 2, извлекаемой смесью 0,1 н. NaOH+0,1 М Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и предположительно связанной с Са, фракции 3 гумусовых веществ, связанной с глинистыми минералами и устойчивыми формами полупероксидов, экстрагируемой 0,02 н. NaOH при нагревании на водяной бане. Последняя фракция является элементом стандартной схемы Пономаревой и Плотниковой (1975). Проведены исследования оптических свойств различных фракций гуминовых кислот с определением оптической плотности (экстинкции) (E) при длине волны 465 нм и концентрации С 0,1% и соотношения экстинкций при 465 и 665 нм (E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>), отражающих относительную обогащенность алифатическими и

ароматическими компонентами, насыщенность сопряженными двойными связями, степень зрелости и обновления.

Оценка экспериментальных, литературных, а также данных почвенных и агрохимических обследований показала, что для пахотного горизонта типичных агросерых неэродированных почв исследуемого региона в полевых условиях наиболее характерны значения содержания гумуса от 2,0 до 3,5%, что соответствует значениям С орг от 1,2 до 2,0%. Анализ данных по содержанию органического вещества в различно окультуренных почвах в зависимости от системы удобрений и агротехники, а также их продуктивности дает основание рассматривать уровень содержания гумуса, равный 2,0–2,4% (1,20–1,40% С орг), в пахотном слое тяжелосуглинистых агросерых почв как низкий, 2,5–2,9% гумуса (1,45–1,70% С орг) – как средний и 3,0–3,5% гумуса (1,75–2,0% С орг) – как высокий в данных почвенно-климатических условиях в полевых севооборотах.

При оценке плодородия почв большое значение имеют такие критерии, как минимальное и оптимальное содержание гумуса в пахотном горизонте. Минимальный уровень определяется в неэродированных почвах и тесно связан с их гранулометрическим составом и типом. Почва с минимальным или близким к нему содержанием гумуса обогащена биологически инертным органическим веществом и не обеспечивает необходимые физические, физико-химические, биологические условия плодородия. Наиболее точно минимальный уровень определяется в контрольных вариантах длительных опытов без удобрений: на паровых делянках или при большой доле пропашных в севообороте без многолетних трав. При отсутствии длительных полевых опытов в регионе минимальный или близкий к нему уровень содержания органического вещества может быть определен в выпашанных слабоокультуренных почвах хозяйств, длительное время не получающих удобрений или при невысоких дозах минеральных удобрений. Из-за отсутствия длительных опытов на агросерых почвах в исследуемом регионе в качестве минимального или близкого к нему уровня содержания органического вещества на тяжелосуглинистых разновидностях приняты величины, характерные для сильновыпаханных слабоокультуренных почв хозяйств на плакоре – порядка 2,0–2,2% гумуса (1,15–1,30% С орг) в пахотном горизонте. Выпаханность этих почв подтверждается крайне низкой водопропрочностью структуры (менее 13% водопропрочных агрегатов более 0,25 мм), низкими уровнями обеспеченности элементами питания, отсутствием выраженной нитрификационной способности, небольшой продуктивностью.

Анализ результатов почвенных обследований и агрохимического картирования, проведенных Почвенным институтом в агроландшафте землепользования совхоза-техникума «Богословское» в Ясногорском районе Тульской области, показал, что неэродированные тяжелосуглинистые аг-

росерые почвы на плакоре имеют минимальное содержание гумуса в пределах 2,0–2,2% (Дьяконова и др., 1994). Коэффициент связи между выявленным минимальным содержанием гумуса и содержанием физической глины составил 0,047, что несколько выше, чем для дерново-подзолистых почв (0,040). Коэффициент может использоваться для расчета минимального содержания гумуса в агросерых почвах иного гранулометрического состава. Величина минимального содержания является основой для расчета оптимального, экономически и экологически целесообразного интервала содержания гумуса, достаточного для реализации биоклиматического потенциала культур.

Мы использовали метод М. Кёршенса (1998), определяющего пределы оптимального содержания гумуса на основе его минимального уровня в пахотном слое и оптимального содержания трансформируемого органического вещества, составляющего от 0,2–0,3 до 0,6–0,7% С орг. Расчетный интервал оптимального содержания гумуса в исследуемых агросерых почвах составил 1,48–1,88% С орг или 2,6–3,2% гумуса. Значения в начале интервала (2,6–2,8% гумуса) следует считать оптимальными для зерновых культур, а в конце его (2,9–3,2% гумуса) – для всех полевых культур, включая пропашные. Содержание гумуса менее 2% может указывать на эродированность почвы и припахивание нижележащих горизонтов. Уровень более 3,5% гумуса (иногда 4–5% и даже выше) в ареале типично серых почв может свидетельствовать об их глееватости из-за особенностей рельефа. Он характерен для верхних гумусовых горизонтов целинных почв под лесом, а также наблюдается при очень интенсивном длительном окультуривании с ежегодным внесением очень высоких доз органических удобрений на приусадебных участках при свойственных им режимах обработки почвы и искусственном регулировании водного режима. Доведение в этих условиях ежегодных доз навоза до 300–500 т/га ведет к коренному преобразованию почв и превращению их в стратоагрозоемы с содержанием в верхних горизонтах гумуса до 8–9% (4,6–5,2% С орг). Важными приемами оптимизации гумусового состояния и физических свойств, особенно водпрочности структуры, агросерых почв региона являются включение в севообороты многолетних трав и минимизация обработок почвы.

Экспериментальные исследования изменений содержания и качества органического вещества под влиянием антропогенного воздействия проведены в образцах из гумусового или пахотного горизонтов различно окультуренных агросерых почв и целинной почвы под лесом на плакоре в Заокской части Московской области, предоставленных П.И. Тихонравовой. Подробная характеристика исследованных тяжелосуглинистых агросерых почв и их продуктивности дана А.Г. Бондаревым и С.Н. Силаковым (1993):

1. Слабоокультуренная агросерая почва совхоза «Емельяновка» характеризовалась низкими уровнями обеспеченности элементами питания в па-

хотном слое (0–20 см), низкой агротехникой возделывания культур, несоблюдением севооборотов, нерегулярностью внесения удобрений, урожайностью зерновых, не превышающей 20–25 ц/га (Озерский район).

2. Высокоокультуренная агросерая почва совхоза «Руновский» сформировалась под влиянием длительного применения органо-минеральной системы удобрений при чередовании зерно-кормового и зерно-пропашного севооборотов, систематического внесения больших доз навоза под пропашные культуры (100–150 т/га) со средней ежегодной обеспеченностью 25 т/га; характеризовалась более мощным пахотным (0–30 см) и гумусовым слоями, чем слабоокультуренная почва, высоким содержанием подвижных элементов питания и стабильной урожайностью зерновых в среднем 45–50 ц/га (Каширский район).

3. Стратоагрозем был сформирован на агросерой почве приусадебного участка совхоза «Сосновский» под влиянием ежегодного длительного (10–15 лет) внесения очень высоких доз навоза (300–500 т/га) и последующей в течение 20–25 лет травяной залежи; характеризуется глубоким гумусовым профилем и сверхвысокими значениями величин содержания подвижных элементов питания и гумуса в верхнем слое 0–30 см (Озерский район).

Проведенные в рассмотренных почвах исследования дали следующие результаты. Все приемы экстракции гумусовых веществ при определении состава гумуса и фракционного состава гуминовых кислот были информативны относительно изменений в содержании и качестве гумусовых веществ, происходящих при освоении серых лесных почв и дальнейшем их окультуривании до уровня стратоагрозома. Преимущество расширенной последовательной экстракции заключалось в увеличении количества фракций и возможности исследования свойств каждой из них, а также в более полном извлечении органического вещества.

Содержание гумуса изменялось от 4,1% в гумусовом горизонте целинной почвы под лесом до 2,2 и 3,0% в пахотных горизонтах соответственно слабоокультуренной и высокоокультуренной агросерых почв и до 8,9% в верхнем гумусовом горизонте стратоагрозома. Целинная почва в верхнем гумусовом горизонте резко отличалась от пахотных горизонтов освоенных аналогов очень высоким абсолютным и относительным содержанием подвижных гумусовых веществ фракции 1, как фульвокислот, так и гуминовых кислот (относящихся к типу бурых) и низким содержанием гуминовых кислот фракции 2, связанных с Са, а также меньшими величинами относительно пахотных аналогов оптической плотности гуминовых кислот фракций 2 и 3 и отношения С гк/С фк в целом (табл. 1, 2).

**Таблица 1.** Групповой и фракционный состав гумуса в гумусовом или пахотном слоях серых, агросерых почв и агрочернозема по схеме Кононовой и Бельчиковой (1961)

Вариант поч- вы	Слой, см	С общ/ гумус, %	С гк		С фк		НО*	С гк С фк	Е гк	Е 4 Е 6
			1	2	1	2				
			% от С общ							
Серая под ле- сом	5–15	2,38/4,1	18,7	5,7	18,5	3,7	53,4	1,1	10,1	4,0
Агросерая слабокультур- ренная	0–20	1,30/2,2	5,9	25,9	10,3	3,2	54,7	2,4	19,0	3,5
Агросерая вы- сококультур- ренная, NPK + навоз	0–20	1,74/3,0	8,5	20,9	7,7	4,0	58,9	2,5	18,4	3,6
Стратоагрозем на серой почве	0–10	5,16/8,9	10,0	12,5	6,3	4,7	66,5	2,1	11,8	4,1
Агрочернозем, NPK + навоз	0–25	3,76/6,5	6,7	25,0	7,5	2,5	58,3	3,2	21,7	3,2

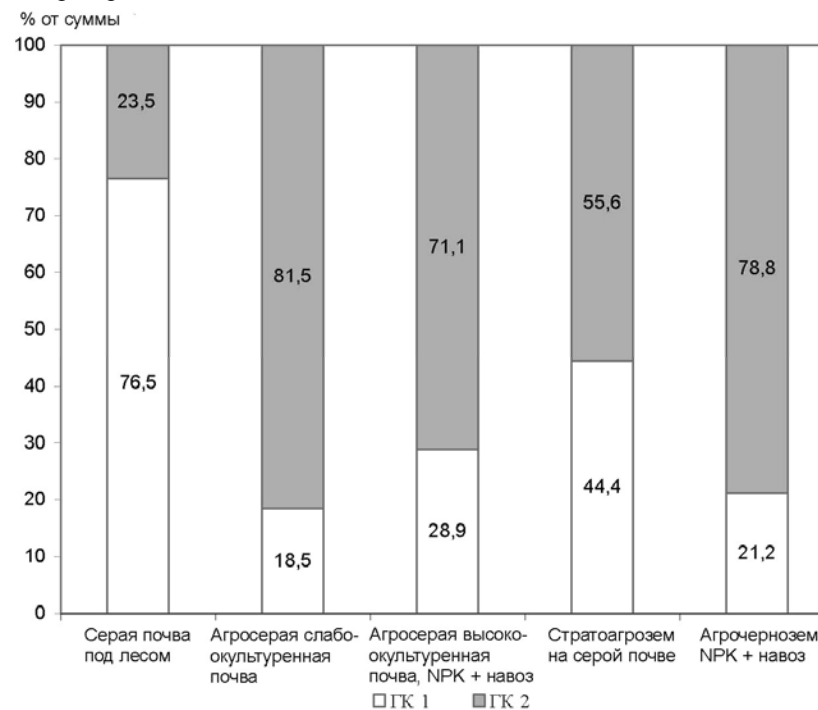
\* НО – нерастворимый остаток.

**Таблица 2.** Соотношение фракций гуминовых кислот, различающихся по прочности связи с минеральной частью почвы, их оптическая плотность и отношение С гк/С фк в последовательных однократных экстракциях из гумусового или пахотного слоев серой, агросерых почв и агрочернозема (расширенная модификация метода Кононовой и Бельчиковой)

Вариант почвы	С гк, % от суммы			Е гк			С гк/С фк во фракциях гумусо- вых веществ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Серая под лесом	50,9	18,4	30,7	8,6	14,8	7,5	1,0	1,5	1,6
Агросерая слабо- окультуренная	13,5	52,7	33,8	5,2	19,8	13,6	0,6	4,3	1,9
Агросерая высоко- окультуренная, NPK + навоз	17,9	45,2	36,9	5,0	21,9	8,7	1,1	3,9	2,4
Агрочернозем, NPK + навоз	15,2	46,9	37,9	9,8	24,6	16,6	0,9	5,0	3,3

При освоении целинной почвы в пахотном горизонте общее количество фульвокислот и подвижных гуминовых кислот резко уменьшается, а абсолютное и относительное содержание гуминовых кислот фракции 2, связанной с Са, сильно возрастает с одновременным увеличением величины их оптической плотности почти до уровня, наблюдаемого в черноземах и характерного для типа черных гуминовых кислот. Повышается также оптическая плотность гуминовых кислот фракции 3, связанной с глинистыми минералами, причем в агрочерноземе она имеет наибольшую величину. В результате при освоении целинной почвы меняется соотношение между фракциями 1 и 2 гуминовых кислот в пахотном слое в сторону резкого преобладания фракции 2 при всех методах экстракции (рисунок).

При использовании обычной схемы Кононовой и Бельчиковой (1961) доля гуминовых кислот фракции 2 в составе общего количества экстрагированных гуминовых кислот (фракция 1 + фракция 2) возрастает от 23,5% в гумусовом слое (5–15 см) целинной почвы до 71,1–81,5% в пахотном слое агросерых почв.



Соотношение содержания углерода фракций 1 и 2 гуминовых кислот в вытяжке по Кононовой–Бельчиковой из гумусового или пахотного слоев серой, агросерых почв и агрочернозема.

Агрочернозем многолетнего опыта Петринского опорного пункта Почвенного института (Курская обл., Россия) и гаплик чернозем Германии длительного опыта в Бад Лаухштедте (Ismagilova, Körschens, 2003) имеют такое же соотношение между фракциями 1 и 2 гуминовых кислот и практически такую же оптическую плотность фракции 2 гуминовых кислот, как агросерые почвы в полевых севооборотах при использовании методов однократных экстракций. Таким образом, по рассмотренным показателям агросерые почвы почти не отличаются от агрочерноземов, хотя и характеризуются значительно более низким содержанием гумуса, практически совпадающим с уровнем гумусированности средне- и хорошоокультуренных агродерново-подзолистых почв (Исмагилова и др., 1987).

Отличия агросерых от агродерново-подзолистых почв проявляются как в преобладании гуминовых кислот фракции 2, связанной с Са, так и в 2 раза большей оптической плотности последних, а также значительно более высокой оптической плотности фракции 3, связанной с глинистыми минералами. Существенные различия агросерых почв от агрочерноземов заметны только при последовательных исчерпывающих экстракциях по соотношению величин оптической плотности гуминовых кислот фракции 2 в первой и второй экстракциях. Данные табл. 3 показывают, что неудобряемый агрочернозем, имея практически одинаковую с агросерой слабоокультуренной почвой высокую оптическую плотность гуминовых кислот фракции 2 в первой экстракции, сохраняет ее в отличие от агросерой почвы и во второй экстракции.

В агросерой почве оптическая плотность гуминовых кислот фракции 2 второй экстракции заметно снижается. Таким образом, агрочернозем имеет большую однородность гуминовых кислот фракции 2, чем агросерая почва, что можно использовать в диагностических целях.

При исследовании незродированных агросерых почв различной степени окультуренности установлено, что агрогенная трансформация пахотных почв на фоне систематического внесения органических удобрений особенно в повышенных дозах ведет к изменению соотношения подвижных

**Таблица 3.** Оптическая плотность подфракций гуминовых кислот, связанных с Са, в серой, агросерых почвах и агрочерноземе при исчерпывающей экстракции (расширенная модификация метода Кононовой и Бельчиковой)

Вариант почвы	Экстракция	
	первая	вторая
Серая под лесом	14,7	10,0
Агросерая слабоокультуренная	22,1	15,1
Стратоагрозем на серой почве	16,5	10,6
Агрочернозем без удобрений	23,5	21,7

и более прочно связанных гуминовых кислот, а также величины оптической плотности последних. Эти изменения наиболее заметны в высокоокультуренных агросерых почвах, особенно в верхнем горизонте стратоагрозема, и заключаются в обогащении органического вещества бурыми гуминовыми кислотами подвижной фракции 1 и более прочносвязанными гуминовыми кислотами фракции 3 с уменьшением оптической плотности последних. Это свидетельствует об обновлении гумуса с увеличением доли незрелых компонентов гумусовых веществ с повышенной долей алифатических структур. Характерно также увеличение гуматности или отношения гуминовых кислот к фульвокислотам фракций 1 и 3. В верхнем гумусовом горизонте стратоагрозема наблюдалось существенное снижение оптической плотности не только гуминовых кислот фракции 3 до 7,1 против 13,6 в слабоокультуренной агросерой почве, но и фракции 2 – до 16,5 против 19,8 соответственно. По сравнению с обычными агросерыми почвами под полевыми культурами соотношение С гк/С фк во фракции 1 гумусовых веществ стратоагрозема увеличивалось соответственно от 0,57–1,11 до 1,71, а во фракции 3, связанной с глинистыми минералами, от 1,88–2,42 до 3,45. Такие же процессы мы наблюдали в уваживаемых вариантах длительного опыта на гаплик черноземе в Бад Лаухштедте, а также на участке пахотной почвы, где гаплик чернозем ранее долго находился под хранилищем органического удобрения и был очень близок стратоагрозему на серой почве в России по содержанию и качеству гумуса.

Таким образом, установлена высокая информативность значений оптической плотности гуминовых кислот в отношении степени зрелости и обновленности гумуса. Выявленные изменения в гумусовом состоянии слабоокультуренных агросерых почв при дальнейшем их окультуривании, свидетельствующие об интенсивных процессах новообразования и обновления органического вещества, в том числе и прочносвязанных фракций при систематическом внесении органических удобрений, несомненно, оказывают положительное действие на физические и биологические свойства почвы, обеспечивают ее потенциальное и эффективное плодородие.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алифанов В.М.* Изменение серых лесных почв при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1979. № 1. С. 37–47.
- Бондарев А.Г., Силаков С.Н.* Изменение физических свойств серых лесных почв при окультуривании // Почвоведение. 1993. №7. С. 107–112.
- Дубровина И.В.* Агрогенетическая характеристика почв Владимирского ополья: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1988. 245 с.
- Дьяконова К.В.* Методы исследования органических веществ в лизиметрических водах, почвенных растворах и других аналогичных природных объектах // Методы стационарного изучения почв. М., 1977. С. 199–226.

*Дьяконова К.В., Исмагилова Н.Х., Дмитренко В.Н.* Гумусовое состояние серых лесных почв в агроландшафте землепользования совхоза-техникума «Богословское» Ясногорского района Тульской области (отчет по хозяйству). М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1994. 22 с.

*Исмагилова Н.Х., Замараев А.Г., Чаповская Г.В., Булкина Л.Ю.* Гумусовое состояние различно окультуренных дерново-подзолистых почв в севообороте с многолетними травами // Органическое вещество пахотных почв: Науч. тр. Почв. ин-та В.В. Докучаева. М., 1987. С. 61–69.

*Карманов И.И., Булгаков Д.С., Славный Ю.А., Воронин А.Я.* Паспорт модели высокого плодородия серой лесной почвы // Региональные эталоны почвенного плодородия. М.: ВАСХНИЛ–Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991. С. 175–183.

*Кононова М.М., Бельчикова Н.П.* Ускоренные методы определения состава гумуса минеральных почв // Почвоведение. 1961. № 10. С. 75–87.

*Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Определение группового и фракционного состава гумуса по схеме И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой // Агрохимические методы исследования почв. М., 1975. С. 47–55.

Почвы Московской области. М.: Московский рабочий, 1974. С. 183–205.

Почвы Московской области и их использование. М., 2002. Т. 1. С. 134–162, 415.

*Силаков С.Н.* Изменение физических свойств серой лесной почвы под влиянием различных способов обработки и высоких доз органических удобрений: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1990. 244 с.

*Ismagilova N., Körschens M.* The evaluation of changes in soil humic substances composition and their nature in long-term experiments of Germany and Russia // Archives of Agronomy and Soil Science. 2003. V. 49. P. 141–147.

*Körschens M., Weigel A., Schulz E.* Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances – tools for evaluating sustainable productivity of soils//J. Plant Nutr. and Soil Sci. 1998. V. 161. N 4. P. 409–424.