
ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И СТРОЕНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ВЛИЯНИЕМ УДОБРЕНИЙ И ДЕФЕКТА

**Елена Сергеевна Гасанова¹
Анна Николаевна Кожокина¹
Николай Георгиевич Мязин¹
Константин Егорович Стекольников¹
Светлана Валерьевна Мухина²**

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Станция агрохимической службы «Таловская»

В настоящее время проблема повышения содержания органического вещества в почве приобрела особую актуальность. На всей территории страны наблюдается отрицательный баланс гумуса. В Воронежской области содержание гумуса, начиная с 1964 г., стабилизировалось на уровне 5,6–5,7%, что ничтожно мало для черноземных почв. Весьма остро на территории области стоит и проблема кислых почв, площадь которых к 2017 г. достигла 699 тыс. га. При этом содержание гумуса и почвенная кислотность взаимосвязаны: ухудшение одного показателя приводит к ухудшению другого, что вызывает необходимость детального исследования влияния различных по направленности агроприемов. В связи с этим сотрудники Воронежского госагроуниверситета изучают влияние многолетнего внесения минеральных, органических удобрений и дефеката на изменение физико-химических свойств и показателей гумусного состояния чернозема выщелоченного. Исследования проводятся в многолетнем стационарном полевом опыте, заложенном в 1986 г. Полученные в опыте результаты показали, что внесение навоза и дефеката способствует оптимизации показателей почвенной кислотности. Одновременно улучшается и гумусное состояние чернозема выщелоченного. Так, внесение дефеката значительно увеличивает содержание гуминовых кислот за счет роста доли фракции ГК2, связанной с кальцием (в среднем на 10%). При использовании навоза также повышается содержание гуминовых кислот, но в основном за счет увеличения доли фракции ГК1 (на 8,61%), молекулы которой имеют более простое строение и поэтому легче подвергаются деструкции. Результаты спектрального анализа гуминовых кислот различных вариантов опыта показали, что известкование почвы приводит к возрастанию доли высококонденсированных фрагментов молекул с сохранением развитой периферической структуры. Гуминовые кислоты неизвесткованных вариантов опыта характеризуются более простым строением.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Чернозем выщелоченный, плодородие, удобрения, дефекат, почвенная кислотность, гумус, гуминовые кислоты.

CHANGES IN THE CONTENT AND STRUCTURE OF HUMIC ACIDS IN LEACHED CHERNOZEM UNDER THE EFFECT OF FERTILIZERS AND DEFECATE

**Elena S. Gasanova¹
Anna N. Kozhokina¹
Nikolay G. Myazin¹
Konstantin E. Stekolnikov¹
Svetlana V. Mukhina²**

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Talovskaya Agrochemical Service Station

At present the problem of increasing the content of organic matter in the soil has become particularly relevant. Throughout the country a negative humus balance is observed. In Voronezh Oblast the humus content has stabilized since 1964 at the level of 5.6-5.7%, which is almost negligible for chernozem soils. A very acute problem for the region is acidic soils, the area of which has reached 699 thousand ha by 2017. At the same time, the humus content and soil acidity are interrelated: the deterioration of one parameter leads to the deterioration of the other, which necessitates a detailed study of the effect of different agricultural practices. In this regard the research staff of Voronezh State Agrarian University is studying the effect of long-term application of mineral and organic fertilizers and lime sludge on the changes in physicochemical properties and indicators of humus state of

leached chernozem. The research is performed in a long-term stationary field experiment laid in 1986. The results obtained in the experiment show that the application of manure and lime sludge contributes to the optimization of soil acidity indicators. Alongside with that, the humus state of leached chernozem is being improved. For instance, the application of lime sludge significantly increases the content of humic acids due to the increase in the proportion of HA2 fraction associated with calcium (by 10% on average). If manure is applied, the content of humic acids also increases, but mainly due to the increase in HA1 fraction (by 8.61%), the molecules of which have a simpler structure and therefore are more easily destroyed. The results of spectral analysis of humic acids in various experimental variants show that soil liming leads to an increase in the proportion of highly condensed fragments of molecules with preservation of the developed peripheral structure. Humic acids in non-limed experimental variants are characterized by a simpler structure.

KEYWORDS: leached chernozem, fertility, fertilizers, lime sludge, soil acidity, humus, humic acids.

Введение

Важнейшим свойством почвы, отличающим ее от других природных объектов, является плодородие. Оно определяется как условиями естественного почвообразовательного процесса, так и интенсивностью антропогенного использования [2, 3].

При оценке плодородия почвы необходимо учитывать количество гумуса и его качественный состав, выражающийся через содержание различных фракций гуминовых и фульвокислот. Принято считать, что почвы, содержащие гумус, в котором преобладают гуминовые кислоты, более плодородны, чем почвы, содержащие гумус фульватного типа [4, 6, 12]. В связи с этим агротехнические приемы возделывания сельскохозяйственных культур должны быть направлены на увеличение содержания гуминовых кислот.

К одному из главных способов улучшения гумусного состояния почв относят внесение органических удобрений. Они являются источником для образования гумуса и увеличивают его содержание в почве [10, 17]. Другим способом считается использование кальцийсодержащих мелиорантов (известкование). Их внесение ведет и к увеличению содержания гумуса (если вносят мелиоранты, содержащие органическое вещество, например дефекат), и к повышению его качества [7, 13].

Улучшение качества гумуса в результате проведения химической мелиорации ученые связывают с образованием гуматов кальция, которые в меньшей степени подвержены минерализации, чем гумусовые кислоты. Кроме того, в этом случае увеличивается содержание обменного кальция в почве, что ведет к нейтрализации повышенной почвенной кислотности и увеличению буферной способности почвы к подкислению [11, 15, 16].

Известно, что в условиях кислой реакции среды наблюдается разрушение гумусовых кислот и в целом процесс гумусонакопления сдвигается в сторону образования более простых их молекул. При внесении минеральных удобрений на известкованном фоне образуются сложные молекулы гумусовых кислот, деструкция которых протекает в меньшей степени [3, 13].

В связи с этим целью проведенных исследований являлось изучение изменения физико-химических свойств и состава гумуса чернозема выщелоченного под влиянием минеральных и органических удобрений, а также дефеката.

Методика эксперимента

Исследования проводились в многолетнем стационарном полевом опыте, заложенном в 1986 г. на территории УНТЦ «Агротехнология» Воронежского государственного аграрного университета.

В опыте освоен шестипольный севооборот.

1. Чистый пар.
2. Озимая пшеница.
3. Сахарная свекла.
4. Вико-овес на зеленый корм.
5. Озимая пшеница.
6. Ячмень.

Схема опыта включала 15 вариантов. Для исследований были выбраны семь: 1, 2, 3, 5, 12, 13, 15 (табл. 1, 2, 3, рис. 2, 4). Повторность опыта четырехкратная, размещение повторений двухъярусное, расположение делянок систематическое шахматное. Общая площадь опытной делянки составляла 191,7 м².

Образцы почвы отбирались после завершения пятой ротации севооборота с поля чистого пара на глубину до 100 см послойно через каждые 20 см с двух несмежных повторений в пятикратной повторности.

Агрохимические анализы почвенных образцов проводили по общепринятым методам [1].

Содержание органического углерода определяли по методу Тюрина.

Фракционно-групповой состав изучали по схеме Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [14], которая позволяет разделить гумус почвы на три фракции гуминовых кислот, четыре фракции фульвокислот и гумин.

Изучены следующие фракции гуминовых кислот:

фракция 1 – свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами;

фракция 2 – связанная с кальцием;

фракция 3 – связанная с глинистыми минералами и неподвижными полуторными оксидами.

Выделены следующие фракции фульвокислот:

фракция 1а – свободная и связанная с подвижными полуторными оксидами («агрессивная фракция»);

фракция 1 – связанная с фракцией 1 ГК;

фракция 2 – связанная с фракцией 2 ГК;

фракция 3 – связанная с фракцией 3 ГК.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований (табл. 1) показали, что при многолетнем возделывании сельскохозяйственных культур без известкования почвы на конец пятой ротации севооборота уровень обменной кислотности снижался до 4,7–5,0 ед. рН_{КС1}. Реакция среды оценивалась как среднекислая.

Таблица 1. Влияние удобрений и дефеката на физико-химические свойства чернозема выщелоченного, среднее в слое 0–40 см, 2018–2019 гг.

Варианты опыта	рН _{КС1}		Нг, мг-экв. на 100 г почвы		S, мг-экв. на 100 г почвы	
	1*	2**	1	2	1	2
1. Без удобрений – контроль	4,9	4,8	5,1	5,3	23,7	23,3
2. 40 т/га навоза	5,0	5,1	4,8	4,1	24,3	24,7
3. 40 т/га навоза + NPK	4,9	5,0	6,0	4,1	23,6	24,4
5. 40 т/га навоза + 2NPK	4,7	4,9	6,4	4,4	23,4	24,3
12. 40 т/га навоза + NPK + дефекат по 1,0 Нг	5,5	6,6	4,2	0,9	24,8	27,2
13. 40 т/га навоза + дефекат по 1,0 Нг	5,6	6,7	3,7	0,8	25,2	27,7
15. NPK + дефекат по 1,0 Нг	5,4	6,1	4,2	1,1	24,9	27,3

Примечание: 1* – перед внесением навоза и дефеката (18.04.2018 г); 2** – перед уборкой озимой пшеницы (17.07.2019 г.).

Самые высокие показатели кислотности почвы (6,4 и 4,4 мг-экв. на 100 г почвы соответственно перед внесением навоза и дефеката и перед уборкой озимой пшеницы) отмечены на варианте применения двойной дозы минеральных удобрений (вариант 5).

Кислотность почвы на вариантах внесения дефеката была на один-два класса ниже, т.е. слабокислой в случае совместного внесения минеральных удобрений, навоза и дефеката – 4,2 и 0,9 мг-экв. на 100 г почвы (вариант 12) и совместного использования

минеральных удобрений и дефекта – 4,2 и 1,1 мг-экв. на 100 г почвы (вариант 15); близкой к нейтральной – при совместном использовании навоза и дефектата без минеральных удобрений – 3,7 и 0,8 мг-экв. на 100 г почвы (вариант 13).

Внесение навоза в поле чистого пара в начале шестой ротации севооборота привело к улучшению физико-химических свойств чернозема выщелоченного – снижалась обменная и гидrolитическая кислотность, увеличивалось содержание обменных оснований.

Положительное действие навоза сохранялось и при использовании на его фоне минеральных удобрений (варианты 3 и 5). Почва по степени кислотности в этом случае практически переходила в класс слабокислой, значительно обогащаясь обменными основаниями.

Еще большей оптимизации показателей почвенной кислотности способствовало известкование. На всех вариантах опыта с дефектатом чернозем выщелоченный по степени кислотности из классов слабокислого и близкого к нейтральному переходил в класс нейтрального. При этом увеличивались показатели рН_{KCl} (на 0,7–1,1) и содержания обменных оснований (на 2,4–2,5 мг-экв./100 г почвы) при снижении показателей гидrolитической кислотности (на 2,9–3,3 мг-экв./100 г почвы).

Соотношение содержания обменных форм кальция и магния (табл. 2) до внесения навоза и дефектата колебалось в широких пределах. На вариантах без известкования колебания соотношения Ca : Mg были меньше, чем на известкованных вариантах, и находились в интервале 4,6–5,6. На вариантах внесения мелиоранта соотношение Ca : Mg расширилось до 4,2–9,5, как правило, за счет более низкого содержания магния.

Таблица 2. Влияние удобрений и дефектата на содержание обменного кальция и известковый потенциал чернозема выщелоченного, слой 0–40 см, 2018–2019 гг.

Варианты опыта	Содержание обменного кальция, мг-экв./100 г почвы		Содержание обменного магния, мг-экв./100 г почвы		Соотношение Ca : Mg		рCa		Известковый потенциал	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Без удобрений – контроль	19,5	19,4	4,2	3,9	4,6	5,0	3,1	3,4	4,4	3,7
2. 40 т/га навоза	20,6	20,2	3,7	4,5	5,6	4,5	2,9	3,3	4,9	4,1
3. 40 т/га навоза + NPK	19,9	20,0	3,7	4,4	5,4	4,5	2,9	3,3	4,7	4,0
5. 40 т/га навоза + 2NPK	19,4	20,0	4,0	4,3	4,9	4,7	3,0	3,4	4,4	4,1
12. 40 т/га навоза + NPK + дефектат по 1,0 Нг	20,0	23,2	4,8	4,0	4,2	5,8	2,9	2,2	5,2	5,7
13. 40 т/га навоза + дефектат по 1,0 Нг	22,8	23,2	2,4	4,5	9,5	5,2	3,0	2,2	5,1	5,6
15. NPK + дефектат по 1,0 Нг	21,9	22,1	3,0	5,2	7,3	4,3	3,0	2,4	5,0	5,3

Примечание: 1* – перед внесением навоза и дефектата (18.04.2018 г.); 2** – перед уборкой озимой пшеницы (17.07.2019 г.).

Перед уборкой озимой пшеницы (конец первого года действия навоза и дефектата) соотношение Ca : Mg сузилось до 4,3–5,8. При этом применение навоза и дефектата обеспечивало рост содержания и кальция, и магния практически по всем вариантам опыта. Исключение составлял вариант внесения только навоза, где содержание обменного кальция было несколько ниже, чем в первый срок отбора почвенных образцов, но в то же время значительно увеличивалось содержание обменного магния (на 0,8 мг-экв./100 г почвы). Обратная закономерность наблюдалась на варианте 12, где значительно увеличивалось содержание обменного кальция (на 3,2 мг-экв./100 г почвы), а содержание обменного магния уменьшалось (на 0,8 мг-экв./100 г почвы).

Говоря о потребности почвы в кальции, которая оценивается по величине известкового потенциала, следует отметить, что внесение навоза, несмотря на некоторое увеличение содержания обменных оснований в почве, не привело к оптимизации этого показателя. В то же время если на контрольном варианте потребность почвы в кальции к уборке озимой пшеницы из класса средней увеличилась до класса сильной, то на вариантах применения навоза и даже при внесении на этом фоне минеральных удобрений она оставалась средней.

Химическая мелиорация чернозема выщелоченного увеличивала величину известкового потенциала и активность ионов кальция в почве (pCa), при этом снижения потребности почвы в этом элементе по сравнению с периодом до внесения дефеката не наблюдалось.

В таблице 3 представлены данные определения фракционно-группового состава гумуса анализируемых почвенных образцов. Для объективного сравнения полученных данных произведен перерасчет в % органического углерода.

Таблица 3. Результаты определения фракционно-группового состава гумуса анализируемых почвенных образцов

Варианты опыта	Собщ	ГК				ФК					ГК + ФК
		ГК1	ГК2	ГК3	Σ	ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3	Σ	
В % к массе почвы											
1	<u>2,35</u>	<u>0,23</u>	<u>0,90</u>	<u>0,11</u>	<u>1,23</u>	<u>0,00</u>	<u>0,16</u>	<u>0,22</u>	<u>0,09</u>	<u>0,47</u>	<u>1,70</u>
	2,43	0,25	0,96	0,24	1,44	0,00	0,17	0,15	0,11	0,42	1,86
2	<u>2,48</u>	<u>0,05</u>	<u>1,12</u>	<u>0,06</u>	<u>1,23</u>	<u>0,00</u>	<u>0,14</u>	<u>0,43</u>	<u>0,14</u>	<u>0,71</u>	<u>1,94</u>
	2,62	0,27	1,17	0,19	1,63	0,00	0,16	0,28	0,14	0,56	2,18
3	<u>2,86</u>	<u>0,06</u>	<u>1,20</u>	<u>0,22</u>	<u>1,47</u>	<u>0,00</u>	<u>0,09</u>	<u>0,40</u>	<u>0,14</u>	<u>0,62</u>	<u>2,09</u>
	2,69	0,12	0,84	0,17	1,12	0,00	0,19	0,43	0,11	0,73	1,85
5	<u>2,76</u>	<u>0,21</u>	<u>1,10</u>	<u>0,16</u>	<u>1,47</u>	<u>0,00</u>	<u>0,17</u>	<u>0,20</u>	<u>0,24</u>	<u>0,60</u>	<u>2,07</u>
	2,68	0,18	0,96	0,18	1,31	0,06	0,15	0,37	0,22	0,79	2,10
12	<u>3,31</u>	<u>0,25</u>	<u>1,76</u>	<u>0,24</u>	<u>2,25</u>	<u>0,00</u>	<u>0,15</u>	<u>0,21</u>	<u>0,15</u>	<u>0,51</u>	<u>2,75</u>
	3,27	0,22	1,42	0,22	1,85	0,00	0,12	0,22	0,13	0,46	2,31
13	<u>3,06</u>	<u>0,27</u>	<u>1,54</u>	<u>0,26</u>	<u>2,06</u>	<u>0,00</u>	<u>0,11</u>	<u>0,14</u>	<u>0,15</u>	<u>0,40</u>	<u>2,46</u>
	2,93	0,22	1,16	0,23	1,60	0,00	0,09	0,43	0,16	0,68	2,28
15	<u>2,96</u>	<u>0,28</u>	<u>0,92</u>	<u>0,25</u>	<u>1,44</u>	<u>0,00</u>	<u>0,13</u>	<u>0,26</u>	<u>0,15</u>	<u>0,54</u>	<u>1,98</u>
	2,93	0,22	1,16	0,23	1,60	0,00	0,09	0,43	0,16	0,68	2,28

Примечание: числитель – перед внесением навоза и дефеката (18.04.2018 г); знаменатель – перед уборкой озимой пшеницы (17.07.2019 г.).

По результатам анализа установлено, что перед внесением удобрений и мелиоранта максимальное содержание ГК отмечалось на вариантах применения дефеката на фоне навоза (варианты 12 и 13). Минимальные показатели характерны для контрольного и фонового вариантов. За анализируемый период количество ГК возросло на всех вариантах, кроме контрольного. Прибавка составила от 3,77 до 13,63% к общему углероду (варианты 5 и 13 соответственно). Данное увеличение содержания ГК на вариантах применения дефеката по органическому фону (варианты 12 и 13), а также на варианте внесения одинарной дозы минеральных удобрений (вариант 3) связано с возрастанием доли ГК2 в среднем на 10% от общего углерода. На контроле отмечалось снижение содержания ГК за счет уменьшения количества ГК2. На фоновом варианте увеличилось количество ГК1 на 8,61% от общего углерода.

Таким образом, выявлено, что применение дефеката по органическому фону увеличивало сумму всех фракций ГК за счет образования ГК2. На вариантах внесения разных доз минеральных удобрений содержание ГК относительно низкое. Ранее нами установлено, что внесение минеральных туков способствует деструкции молекул ГК, а их фрагменты могут попадать во фракции ФК при анализе [3].

ФК являются наиболее подвижной и реакционноспособной фракцией гумуса. Наибольшее их содержание отмечалось на вариантах применения минеральных удобрений на фоне навоза (варианты 3 и 5). На известкованных вариантах сумма всех фракций ФК за анализируемый период снижается на 0,23–9,84% от органического углерода. В составе фульвокислот преобладают фульваты кальция (ФК-2): 6,55–14,45% от органического углерода в образцах от 18.04.2018 г. и 6,1–10,75% в образцах от 17.07.2019 г.

Установлено, что в составе гумусовых кислоты преобладают ГК2 фракции. Данный факт определен типовыми особенностями черноземных почв. Ионы кальция связываются с гуминовыми кислотами в прочные нерастворимые соединения. Образование гетерополярных солей ГК с катионами кальция может способствовать закреплению ГК на глинистых минералах [5, 13]. Это способствует накоплению в почве стабильного гумуса, который менее подвержен окислению и гидролизу. Кроме того, гуматы кальция при коагуляции за счет адгезии образуют пленки на поверхности частиц твердой фазы почвы. В результате формируется агрономически ценная почвенная структура.

В исследованиях анализировали особенности молекулярного строения ГК различных фракций. Для этого был использован метод УФ-спектроскопии [8, 9]. УФ-спектры растворов отдельных фракций ГК регистрировали в диапазоне длин волны 200–1000 нм с шагом 5 нм на спектрофлуориметре СМ2203. Анализировались почвенные образцы, отобранные перед уборкой озимой пшеницы (17.07.2019 г.).

Известно, что гумусовые кислоты представляют собой гетерогенную смесь полидисперсных, неоднородных соединений переменного состава и нерегулярного строения. Однако продолжительные структурные исследования гуминовых кислот позволили сделать вывод об общности построения их молекул, при этом выделяют характерные структурно-функциональные компоненты гумусовых кислот.

На рисунке 1 представлена оптимизированная нами модель строения ГК методом молекулярной механики. За основу была взята модель строения ГК по Стивенсону [18].

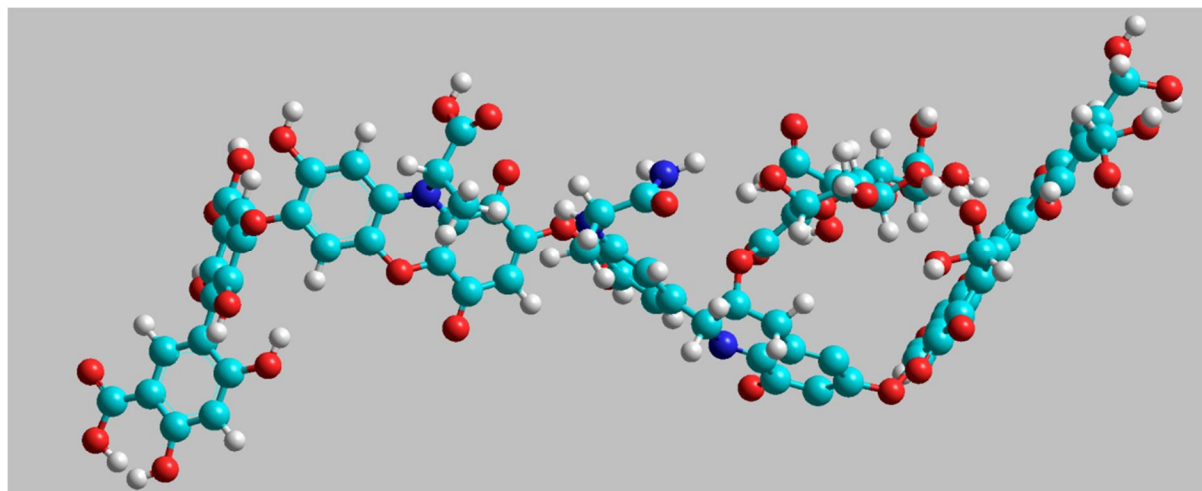


Рис. 1. Оптимизированная модель строения молекулы гуминовой кислоты (F.J. Stevenson, 1982)

Так, все гуминовые кислоты имеют периферические компоненты, представлены алифатическими структурами, а также «ядерный» компонент – ароматическую часть. В состав этих основных компонентов входят многочисленные функциональные группы, определяющие способность образовывать координационные связи с металлами, а также способность связывать микробные ферменты.

На рисунке 2 представлены УФ-спектры фракций ГК в диапазоне волн 200–400 нм. Точное положение максимумов поглощения определялось из зависимости первой производной оптической плотности от длины волны при условии $dD/d\lambda = 0$.

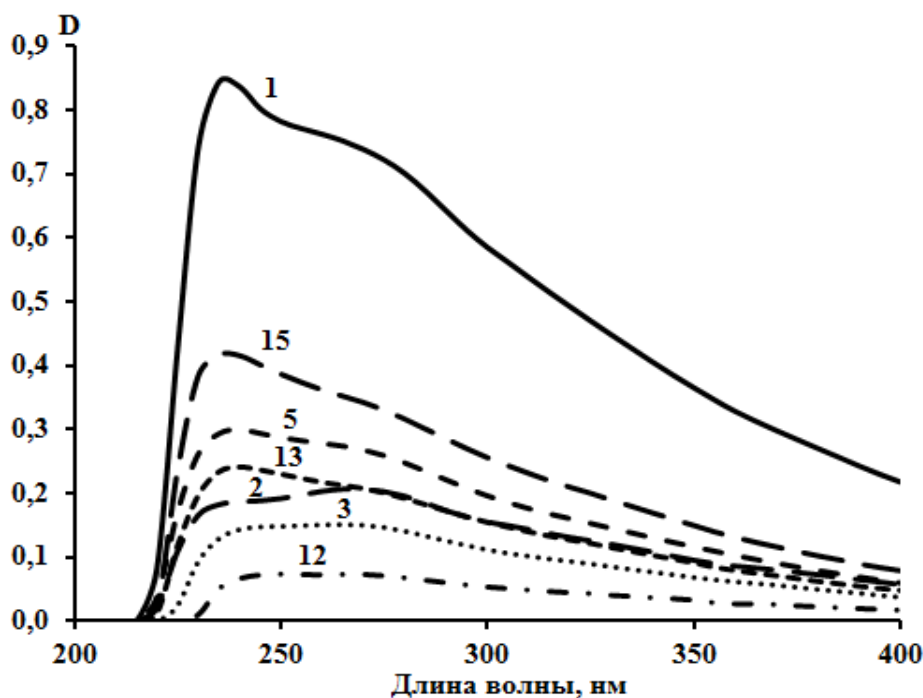


Рис. 2. Электронные спектры ГК1 фракции анализируемых вариантов

УФ-спектры ГК1 фракции характеризуются развитым максимумом в области 230 нм, который определяется фрагментами бензола с сильным ауксохромным заместителем, например, с карбоксильными группами. На контрольном варианте отмечается резкий гиперхромный эффект. Возможно, это объясняется увеличенным размером углеводородного радикала. Также на всех электронных спектрах отмечается небольшой максимум при длине волны 275 нм, который может быть объяснен присутствием фенольных соединений. ГК данной фракции представлены подвижным, легкоизвлекаемым органическим веществом.

На рисунке 3 представлена модель строения ГК2 фракции, связанной с кальцием.

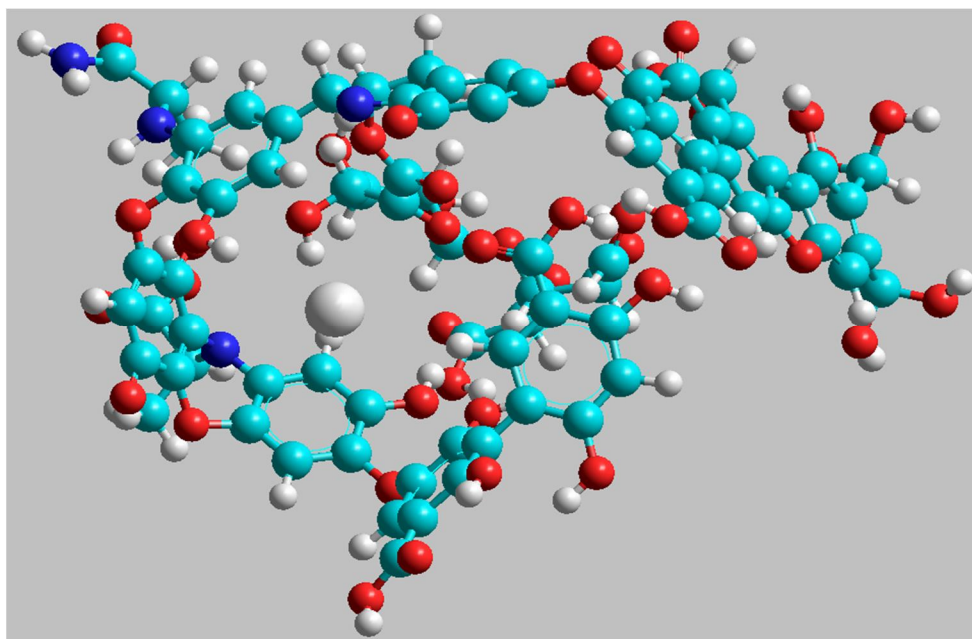


Рис. 3. Оптимизированная модель строения гуминовых кислот, связанных с ионом кальция (F.J. Stevenson, 1982)

Подтверждается факт, что гумус относится к «краун-соединениям», образующим замкнутые кольцевые структуры, внутри которых расположены центральные атомы металлов [8, 9]. Молекулы данной фракции имеют сложный характер спектров (рис. 4).

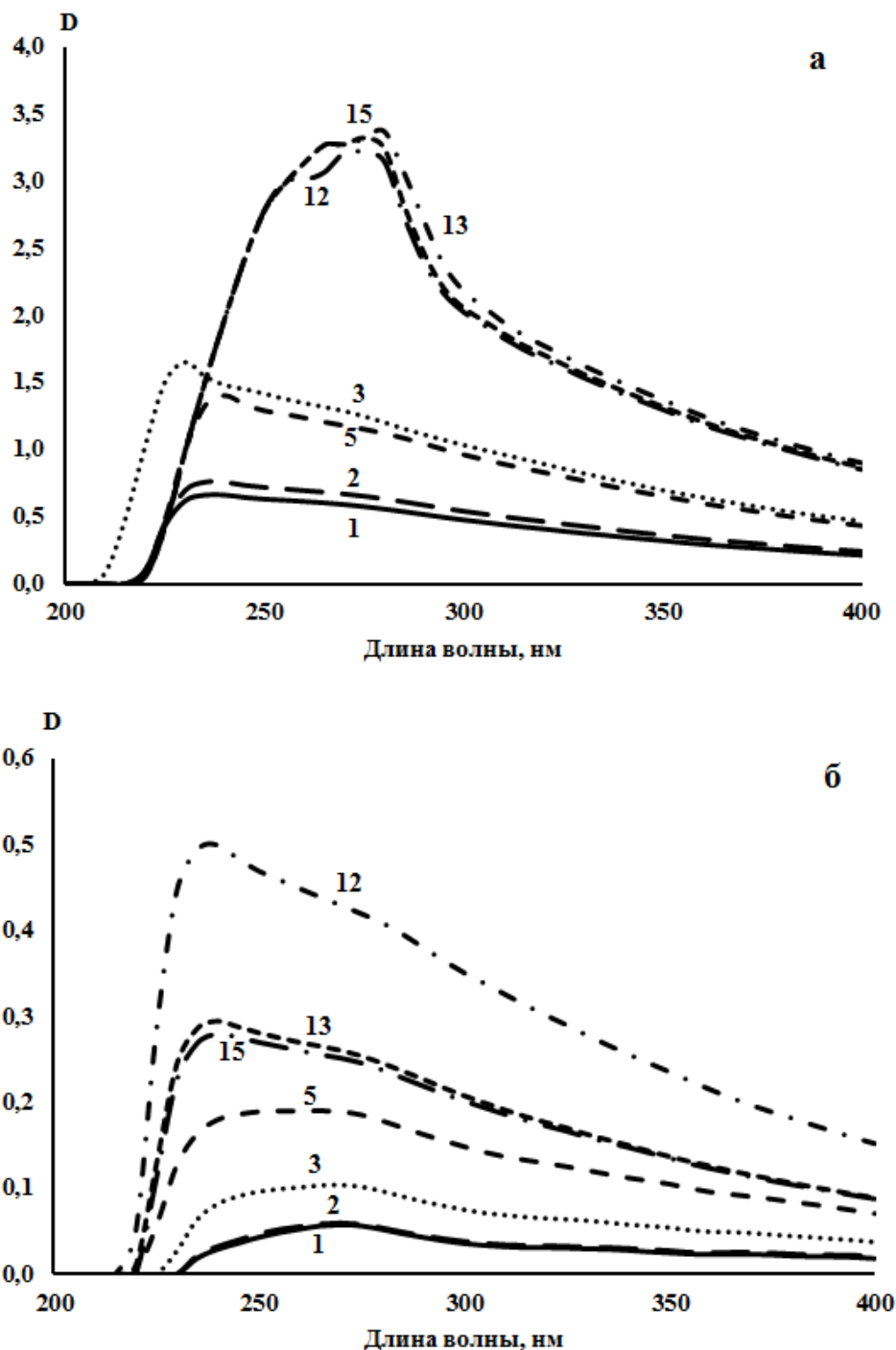


Рис. 4. Электронные спектры ГК2 (а) и ГК3 (б) анализируемых вариантов

На кривых контрольного и фонового вариантов при 230 нм выделяется один максимум. На варианте внесения одинарной дозы минеральных удобрений отмечается гипсохромный сдвиг до 220 нм. На мелиорированных вариантах выделяются два выраженных максимума в диапазоне 255–270 нм, а также несколько перегибов в длинноволновой части спектра. Кроме того, на данных вариантах отмечается гиперхромный эффект. Это свидетельствует о высоком содержании в молекулах ГК фенолкарбоновых кислот.

Можно предположить, что молекулы данной фракции характеризуются развитыми ядерными и алифатическими структурами.

УФ-спектры ГКЗ фракции характеризуются следующими особенностями. Спектры контрольного и фонового вариантов практически совпадают и имеют один максимум – 275 нм. Спектры вариантов с применением минеральных удобрений имеют два перегиба – 240 нм и 275 нм. Спектры известкованных вариантов имеют один интенсивный пик 235 нм и один перегиб 280 нм, а также отмечается гиперхромный эффект. Это свидетельствует о структурных различиях соответствующих хромофорных группировок в гумусовых молекулах. Таким образом, выявлено, что применяемые агротехнические приемы приводят к изменениям молекулярного строения фракций ГК. Известкование приводит к возрастанию доли высококонденсированных фрагментов молекул с сохранением развитой периферической структуры.

Выводы

1. Использование навоза и дефеката приводило к снижению обменной и гидролитической кислотности и обогащению почвы основаниями. Однако потребность почвы в кальции как при внесении только навоза, так и при его совместном использовании с минеральными удобрениями к уборке озимой пшеницы увеличивалась.

2. Внесение минеральных удобрений на фоне навоза привело к возрастанию содержания ФК. Использование дефеката способствовало снижению содержания ФК и увеличению общего количества ГК за счет накопления ГК₂, связанных с кальцием. В составе гумусовых кислот всех анализируемых вариантов преобладают ГК₂.

3. По данным электронной спектроскопии установлено, что изучаемые агротехнические приемы приводят к изменению строения молекул фракций ГК. При известковании возрастает содержание фенолкарбоновых кислот с различными ауксохромными заместителями в молекулах ГК. Это свидетельствует о высокой конденсированности и развитой алифатической структуре молекул ГК.

Таким образом, известкование почвы, увеличивая содержание обменных оснований, оказало благоприятное влияние на содержание и строение молекул гуминовых кислот. Это проявилось в усложнении их структуры в сторону большей конденсированности и алифатизации, что будет способствовать повышению устойчивости гумуса к минерализации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-316-00035 мол_а «Изучение механизма деградации чернозема на примере дегумификации и декальцирования и разработка мероприятий по повышению почвенного плодородия»

Библиографический список

1. Агрохимические методы исследования почв / З.Г. Ильковская, А.С. Коновалов, В.В. Пономарев и др. ; под ред. чл.-корр. АН СССР А.В. Соколова. – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва : Наука, 1975. – 656 с.
2. Влияние удобрений на гумусное и агрофизическое состояние чернозема выщелоченного / Н.Л. Кураченко, О.А. Ульянова, М.В. Луганцева, М.В. Бабаев // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 1. – С. 33–38.
3. Гасанова Е.С. Химия почв : учеб. пособие / Е.С. Гасанова, К.Е. Стекольников. – Воронеж : Воронежский ГАУ, 2013. – 154 с.
4. Ерёмин Д.И. Изменение гумусного состояния при распашке целинного чернозема выщелоченного в условиях лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Ерёмин, В.Л. Телицын, Г.Д. Притчина // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 10. – С. 17–19.
5. Ерёмин Д.И. Изменение качественного состава гумуса чернозема выщелоченного под действием возрастающих доз минеральных удобрений / Д.И. Ерёмин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 6. – С. 20–26.
6. Завьялова Н.Е. Влияние приемов землепользования на трансформацию гуминовых кислот дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья / Н.Е. Завьялова, В.А. Кончиц // Почвоведение. – 2011. – № 1. – С. 103–110.
7. Изменение показателей ППК и гумусного состояния чернозема выщелоченного при многолетнем внесении удобрений и известковании / Е.С. Гасанова, А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин, К.Е. Стекольников // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 11, № 4 (59). – С. 13–21.

8. Кудеяров А.Ю. Использование электронной спектроскопии для выявления структурных различий гумусовых кислот целинной и пахотной серой лесной почвы / А.Ю. Кудеяров // Почвоведение. – 2008. – № 9. – С. 1079–1091.
9. Методы спектрального анализа : учебник / А.А. Бабушкин, П.А. Бажулин, Ф.А. Короваев и др. ; под ред. проф. В.Л. Левшина. – Москва : Изд-во МГУ, 1962. – 509 с.
10. Минакова О.А. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте ЦЧП / О.А. Минакова, А.И. Громовик // Плодородие. – 2009. – № 2 (47). – С. 10–11.
11. Мязин Н.Г. Урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы при внесении удобрений и мелиоранта на черноземе выщелоченном / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Агрэкологический вестник: посвящается 25-летию кафедры агроэкологии Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 151–158.
12. Онищенко Л.М. Анализ гумусного состояния чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / Л.М. Онищенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 91. – С. 1129–1146.
13. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – Москва : Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
14. Орлов Д.С. Химия почв : учебник / Д.С. Орлов. – Москва : Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.
15. Середина И.Г. Влияние систематического применения удобрений и известкования на агрохимические свойства чернозема выщелоченного, урожай и качество озимой пшеницы по вико-овсяной смеси / И.Г. Середина, П.Т. Брехов // Молодежный вектор развития аграрной науки : матер. 65-й научной студенческой конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2014 – С. 129–133.
16. Шеуджен А.Х. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические и агрохимические свойства почвы, урожайность и качество сои / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Ю.А. Исупова // Плодородие. – 2013. – № 1 (70). – С. 26–28.
17. Широких Е.В. Оценка гумусного состояния чернозема типичного в естественных и сельскохозяйственных антропогенных ландшафтах / Е.В. Широких, А.И. Стифеев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 38–40.
18. Stevenson F.J. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions / F.J. Stevenson – New York: John Wiley and Sons, 1982. – 443 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Елена Сергеевна Гасанова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Анна Николаевна Кожокина – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: annakozh27@yandex.ru.

Николай Георгиевич Мязин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Константин Егорович Стекольников – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Светлана Валерьевна Мухина – доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора ФГБУ «Станция агрохимической службы «Таловская», Россия, Воронежская область, Таловский район, e-mail: agrohim_36_2@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 08.11.2019

Дата принятия к печати 14.12.2019

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Elena S. Gasanova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Anna N. Kozhokina, Candidate of Agricultural Sciences, Assistant, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: annakozh27@yandex.ru.

Nikolay G. Myazin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Konstantin E. Stekolnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Svetlana V. Mukhina, Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Director, Talovskaya Agrochemical Service Station, Russia, Voronezh Oblast, Talovskiy Raion, e-mail: agrohim_36_2@mail.ru.

Received November 08, 2019

Accepted after revision December 14, 2019