

© Г.Н. ШИГАБАЕВА

Тюменский государственный университет
sgn@utmn.ru

УДК 504.5

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ
ПОЧВ И ТОРФОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

**ELEMENTAL COMPOSITION AND LEVEL
OF FUNCTIONAL GROUPS OF HUMIC SUBSTANCES
IN SOILS AND TURFS OF DIFFERENT ORIGIN**

АННОТАЦИЯ. Целью настоящей работы являлось определение элементного состава гуминовых веществ и содержания основных функциональных групп (карбоксильных, гидроксильных и фенольных) во фракционированных препаратах гумусовых кислот, выделенных из почв и торфов различного происхождения. Выделение фракций гумусовых кислот проводили пирофосфатным методом. Определен элементный состав препаратов. Среднее значение массовой доли С, Н, О, N составило: для гуминовых кислот торфов — 53.83, 4.50, 37.55, 4.12 масс.%; для фульвокислот торфов — 38.25, 4.57, 54.66, 2.52 масс.% соответственно; для гуминовых кислот почв — 54.61, 3.61, 38.17, 3.61 масс.%; для фульвокислот почв — 45.32, 4.13, 47.78, 2.77 масс.% соответственно. Суммарное содержание основных функциональных групп составило: для гуминовых кислот — торфов 5,40 ммоль/г и почв 5,71 ммоль/г; для фульвокислот — торфов 6,63 ммоль/г и почв 6,64 ммоль/г. Определено, что доля кислотных групп в ФК значительно выше, чем в ГК.

SUMMARY. The aim of this study is to determine the elemental composition of humic substances and the level of the main functional groups (carboxyl, hydroxyl and phenolic) in fractionated products of humic acids isolated from soils and turfs of different origin. Fractionation of humic acids was performed with the pyrophosphate method. The element composition (C, H, O, N wt. %) was: for turf humic acids — 53.83, 4.50, 37.55, 4.12; for turf fulvic acids — 38.25, 4.57, 54.66, 2.52, respectively; for soils humic acids — 54.61, 3.61, 38.17, 3.61; for soils fulvic acids — 45.32, 4.13, 47.78, 2.77 respectively. The total content of basic functional groups was as follows: for turf humic acids 5.40 mmol/g, for soils humic acids 5.71 mmol/g; for turf fulvic acids 6.63 mmol/g and for soils fulvic acids 6.64 mmol/g. It is determined, that the percentage of acid groups in the fulvic acids is significantly higher, than that in humic acids.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Гуминовые кислоты, фульвокислоты, элементный состав, почва, торф.

KEY WORDS. Humic acids, fulvic acids, elemental composition, soils, turf.

Введение. Гумусовые кислоты представляют собой наиболее обширный и реакционноспособный класс природных соединений, входящих в состав органического вещества почв, природных вод и твердых горючих ископаемых. Наличие в молекулах гумусовых кислот широкого спектра кислородсодержащих функциональных групп, таких как карбоксильные, гидроксильные, карбонильные и ряд других в сочетании с присутствием ароматических фрагментов обуславливает их способность вступать в ионные и донорно-акцепторные взаимодействия, образовывать водородные связи, активно участвовать в сорбционных процессах.

Эти взаимодействия служат одним из важнейших факторов формирования структуры почв и почвенных профилей. В зависимости от подвижности образующихся соединений происходит аккумуляция *in situ* гумусовых кислот и связанных с ними минеральных компонентов, перераспределение по профилю или миграция с природными водами [1-4].

Данное обстоятельство определяет важность и актуальность изучения элементного и функционального состава гумусовых кислот как основы их реакционной способности в отношении загрязнителей и установления количественных взаимосвязей между структурой и свойствами гумусовых кислот.

Материалы и методы. В работе были исследованы гуминовые вещества, выделенные из верхнего горизонта почв различной зональной принадлежности: зоны северной тайги — глееподзолистые почвы, зоны смешанных лесов — дерново-подзолистые почвы, зоны степей — чернозем.

Твердые препараты гумусовых кислот представляли собой аморфные порошки от темно-желтого до коричневого цвета, причем более светлая окраска была характерна для фракции фульвокислот.

Для выделения гуминовых веществ и разделения их на фракции использовали пирофосфатный метод [5]. Для определения элементного состава в гумусовых кислотах использовали метод автоматического микроанализа, позволяющего определять содержание трех элементов из одной навески 1.5-2 мг. Процесс определения можно схематично разбить на три стадии: окислительный пиролиз образца при 950-1100°C, разделение продуктов пиролиза (CO₂, H₂O и N₂) и их детектирование. Кислород определяли по разности между массой образца и суммарной массой всех других элементов, входящих в его состав: O = 100 % — X(% C, % H, % N, ..., %) [6]. Содержание основных функциональных групп, гидроксильных, карбоксильных и фенольных, определяли с использованием методов прямого и обратного потенциометрического титрования [7, 8].

Результаты и их обсуждение. Гумусовые кислоты широко распространены в природных средах — водах, почвах различного типа, донных отложениях. Из гумусовых кислот наиболее растворимы фульвокислоты, что обусловлено меньшей молекулярной массой, а также наличием в их структуре карбоксильных, гидроксильных и фенольных групп. Благодаря вышеперечисленным функциональным группам они взаимодействуют с металлами с образованием растворимых и нерастворимых гуматов, поэтому необходимы определения количественных и качественных характеристик кислотно-основных свойств гумусовых кислот [3].

Места отбора и тип объектов, из которых были выделены препараты гуминовых веществ, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные по расположению проб

Шифр	Место отбора пробы
<i>Торф</i>	
T1	Лесостепь, Тюм. Обл. Казанский р-н, болото Рямок
T2	Средняя тайга, ХМАО-Югра, оз. Ранге-тур, болото приозерное
T3	Средняя тайга ХМАО-Югра, г. Лохтоткурт, болото без названия
<i>Почва</i>	
П1	Средняя тайга (подзол), ХМАО-Югра, Ранге-тур
П2	Средняя тайга (подзол), ХМАО-Югра, д. Лохтоткурт
П3	Лесостепь (дерново-подзол), Тюм. Обл. Казанский р-н
П4	Смешанный лес (дерново-подзол), Подмосковье
П5	Степь (чернозем), Воронежская область
П6	Тайга (подзол), Полярнозороенский район Кольского полуострова

По различной растворимости гуминовые вещества (ГВ) подразделяются на следующие 3 класса: негидролизуемый остаток (гумин), который не растворим ни в кислотах, ни в щелочах; гуминовые кислоты (ГК) — фракция ГВ, растворимая в щелочах и не растворимая в кислотах (при $\text{pH} < 2$); фульвокислоты (ФК) — фракция ГВ, растворимая и в щелочах, и в кислотах. Последние два класса объединяют под общим названием *гумусовые кислоты*, они являются наиболее подвижной и реакционноспособной компонентой ГВ, активно участвующей в химических процессах, протекающих в биосфере [9].

При наиболее благоприятных условиях гумусонакопления формируется гумус, обогащенный ГК. Как видно из табл. 2, наибольшие запасы такого гумуса характерны для всех образцов торфа (Т1, Т2, Т3). Здесь природные условия способствовали росту торфообразующей растительности, накоплению торфяной залежи и превращению отмерших остатков в гумус.

Таблица 2

Выход гумусовых кислот

Шифр	T1	T2	T3	П1	П2	П3	П4	П5	П6
Содержание ГК, %	6,22	5,98	5,42	2,53	2,16	2,93	2,88	2,36	2,98
Содержание ФК, %	6,12	4,94	3,39	3,14	2,92	1,52	2,32	2,15	1,91

Слабая степень трансформации органических веществ характеризует подзолистые почвы северных районов (П1, П2). Низкие запасы гумуса в северных подзолистых почвах могут быть связаны с тем, что в гумусе этих почв преобладают растворимые продукты гумификации (ФК и их соли — фульваты), которые вымываются осадками до грунтовых вод. Для дерново-подзолистой почвы южной части Западной Сибири (П3), наоборот, характерно преобладание ГК, что говорит об активном преобразовании поступающего в почву органического вещества.

Данные элементного анализа, представленные в табл. 3, показывают, что в целом как по торфам, так и по почвам содержание кислорода больше в ФК

(54.66 масс.% для торфов, 47.78 масс.% для почв в среднем). Возможно, это связано с обогащением ФК кислородсодержащими фрагментами, что, в свою очередь, объясняет их лучшую растворимость и высокую миграционную способность.

Однако процентный состав ГК и ФК, непосредственно устанавливаемый в анализе, еще не дает наглядного представления о роли отдельных элементов в построении молекул. Для выяснения этой роли вычисляли атомные отношения [10]. В табл. 3 представлены атомные отношения С/Н, С/О, С/Н. Величины отношений С/Н, С/О, С/Н показывают количество атомов углерода, приходящееся в молекуле (частице) на один атом водорода, кислорода или азота.

Среднее значение отношения С/Н варьируют в пределах 0.96-1.12 для ГК торфов, 1.04-1.45 для ГК почв; 0.64-0.79 для ФК торфов и 0.82-1.13 для ФК почв.

Таблица 3

**Характеристики элементного состава гуминовых кислот,
выделенных из почв и торфов**

Гуминовые кислоты											
Содержание элементов, % (масс)					Атомные проценты, %				Атомные соотношения		
шифр	С	Н	О	N	С	Н	О	N	С:Н	С:О	С:N
T1	57,82	5,08	32,61	4,49	39,29	41,46	16,64	2,62	0,96	2,36	15,02
T2	48,79	3,67	43,22	4,32	37,82	34,17	25,15	2,87	1,12	1,50	13,17
T3	54,87	4,75	36,83	3,55	38,47	40,00	19,39	2,13	0,97	1,98	18,03
среднее	53,83 ±4,60	4,50 ±0,74	37,55 ±5,34	4,12 ±0,50	38,53 ±0,74	38,54 ±3,86	20,39 ±4,34	2,54 ±0,38	1,02 ±0,09	1,95 ±0,43	15,4 ±2,45
П1	52,46	3,04	40,45	4,05	42,72	29,73	24,73	2,83	1,45	1,73	15,11
П2	54,98	3,67	39,15	2,20	42,18	33,82	22,55	1,45	1,26	1,87	29,15
П3	52,73	3,14	39,34	4,79	42,49	30,39	23,80	3,31	1,41	1,79	12,84
П4	56,20	3,73	35,91	4,16	42,73	34,06	20,50	2,71	1,27	2,08	15,76
П5	54,29	3,48	38,39	3,84	42,35	32,60	22,48	2,57	1,31	1,88	16,49
П6	56,99	4,61	35,79	2,61	40,28	39,14	18,99	1,58	1,04	2,12	25,47
среднее	54,61 ±1,82	3,61 ±0,56	38,17 ±1,92	3,61 ±0,99	42,13 ±0,93	33,29 ±3,37	22,18 ±2,11	2,41 ±0,74	1,29 ±0,14	1,91 ±0,16	19,14 ±6,55

Таблица 3

**Характеристики элементного состава фульвокислот,
выделенных из почв и торфов**

Фульвокислоты											
Содержание элементов, % (масс)					Атомные проценты, %				Атомные соотношения		
шифр	С	Н	О	N	С	Н	О	N	С:Н	С:О	С:N
T1	42,69	4,57	50,32	2,43	28,71	41,04	29,02	1,23	0,79	1,13	23,34

Окончание табл. 3

T2	33,58	4,39	59,63	2,40	25,71	33,75	39,15	1,38	0,64	0,75	18,63
T3	38,49	4,75	54,02	2,74	26,74	39,64	32,19	1,43	0,68	0,95	18,70
среднее	38,25 ±4,56	4,57 ±0,18	54,66 ±4,69	2,52 ±0,19	27,05 ±1,52	38,14 ±3,87	33,45 ±5,18	1,35 ±0,10	0,70 ±0,08	0,94 ±0,19	20,22 ±2,70
П1	41,74	4,24	51,88	2,14	33,57	29,36	35,78	1,29	0,83	1,07	26,02
П2	47,78	3,56	46,20	2,47	35,84	33,06	29,71	1,39	1,13	1,38	25,78
П3	43,57	4,46	49,80	2,17	34,68	30,02	33,99	1,30	0,82	1,17	26,68
П4	44,59	4,40	47,73	3,28	33,58	33,74	30,82	1,85	0,85	1,24	18,15
П5	45,46	4,05	46,41	4,08	34,94	32,12	30,59	2,35	0,94	1,31	14,87
П6	48,77	4,07	44,68	2,48	33,79	38,37	26,55	1,29	1,01	1,45	26,19
среднее	45,32 ±2,62	4,13 ±0,33	47,78 ±2,64	2,77 ±0,76	34,40 ±0,91	32,78 ±3,22	31,24 ±3,26	1,58 ±0,44	0,93 ±0,12	1,27 ±0,14	22,95 ±5,10

Видно, что наибольшими значениями С/Н характеризуются ГК и ФК почв, что говорит о большем количестве заместителей водородных атомов в ароматических кольцах и алифатических цепочках их молекул. Отношения С/О изменяются в пределах 1.50-2.36 и 0.75-1.13 для ГК и ФК торфов соответственно; 1.73-2.12 для ГК и 1.07-1.45 для ФК почв соответственно. Величина атомного отношения С/О зависит от степени окисленности и уменьшается по мере возрастания числа гидроксильных, фенольных и карбоксильных групп, следовательно, можно сделать вывод, что ФК всех исследуемых образцов отличаются большим содержанием кислородсодержащих фрагментов по сравнению с ГК. Степень окисленности исследуемых объектов увеличивается в ряду почва (0.17-0.50) < торф (0.50-0.82).

Для отношений С/Н характерны самые высокие значения по сравнению с С/Н и С/О: 12.84-29.15 для ГК и 14.87-26.68 для ФК. Увеличение значений С/Н, С/О и С/Н относительно друг друга говорит о возрастании роли атомов углерода в построении молекулярной структуры по отношению к атомам водорода, кислорода или азота.

Величины атомных отношений Н/С позволили судить о соотношении в молекулах ГФК ароматических и алифатических структур [11, 12].

Так, для ГК характерны более низкие значения Н/С, чем для ФК. Для ГК отношение Н/С колеблется в пределах 0.69-1.33, что явно указывает на преобладание ароматических структур, в то время как для ФК Н/С составляет 0.98-1.73, что говорит о преобладании в структуре алифатических фрагментов. В целом показатель Н/С, как для ГК, так и для ФК убывает в ряду торф > почва, что может быть связано с источниками гумусообразования в этих системах. Предшественниками ГК и ФК в торфах и почвах являются продукты разложения лигнина, полифенолы и производные фенолов, синтезируемые микроорганизмами, то есть вещества, обогащенные ароматическими структурами, причем в торфах эти процессы более выражены.

Количественное соотношение гуминовых кислот и фульвокислот характеризует групповой состав гумуса. Количественной мерой типа гумуса служит отношение содержания углерода гуминовых кислот к содержанию углерода фульвокислот $S_{гк} : S_{фк}$. По величине этого отношения различают 4 типа гу-

муса: гуматный > 1,5, фульватно-гуматный — 1-1,5, гуматно-фульватный — 0,5-1, фульватный — <0,5 [10],[11]. Результаты определения типа гумусовых веществ представлены в табл. 4.

Таблица 4

Углерод ГК и ФК и соотношение ($C_{ГК} : C_{ФК}$) для гуминовых веществ

Шифр	Сгк, %	Сфк, %	Сгк:Сфк	Тип гумуса
T1	2,66	2,61	1,02	Фульватно-гуматный
T2	2,01	1,66	1,21	Фульватно-гуматный
T3	2,09	1,30	1,60	Гуматный
П1	1,06	1,31	0,80	Гуматно-фульватный
П2	1,03	1,40	0,74	Гуматно-фульватный
П3	1,28	0,66	1,93	Гуматный
П4	1,28	1,03	1,24	Фульватно-гуматный
П5	1,07	0,98	1,10	Фульватно-гуматный
П6	1,45	0,93	1,56	Гуматный

Согласно полученным данным, для двух образцов торфа наблюдается фульватно-гуматный тип. Для подзолистых почв средней тайги ХМАО-Югра — гуматно-фульватный, для остальных почв — фульватно-гуматный. Для почвы южной части Тюменской области и чернозема характерен гуматный тип гумуса. Поскольку гуматный тип формируется только при достаточно высокой степени насыщенности почв основаниями, можно предположить, что для данных почв наблюдается продолжительный период биологической активности почвы и высокая степень насыщенности почвы основаниями. Напротив, сильнокислотные почвы имеют фульватный гумус. При определенном сочетании этих двух факторов возможно формирование промежуточных типов гумуса — фульватно-гуматного и гуматно-фульватного, которые наблюдаются для некоторых образцов как торфа, так и почв.

Определение содержания функциональных групп в препаратах гуминовых и фульвокислот проводили с использованием метода прямого и обратного потенциометрического титрования [7, 8]. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Данные по содержанию основных функциональных групп в молекулах ФК по данным прямого потенциометрического титрования

Шифр	Содержание, ммоль/г					
	Сильные -COOH	Слабые -COOH	Σ -COOH	-COOH и -OH	-OH	Σ общ.
T1	0,55	1,59	2,14	0,99	3,15	6,28
T2	0,53	1,67	2,20	0,96	3,66	6,82
T3	0,45	1,88	2,33	0,83	3,62	6,78
Среднее	0,51±0,10	1,71±0,15	2,22±0,10	0,93±0,10	3,48±0,28	6,63±0,30

Окончание табл. 5

П1	0,55	1,56	2,11	0,67	3,98	6,76
П2	0,51	1,59	2,10	0,53	4,23	6,86
П3	0,74	1,64	2,38	0,68	3,57	6,63
П4	0,69	1,76	2,45	0,64	3,42	6,51
П5	0,54	1,54	2,08	0,57	3,88	6,53
П6	0,62	1,67	2,29	0,59	3,65	6,53
Среднее	0,61±0,10	1,63±0,10	2,24±0,16	0,61±0,10	3,79±0,30	6,64±0,14

Содержание карбоксильных групп ФК варьирует в пределах от 2.08 до 2.45 ммоль/г; содержание фенольных групп от 3.15 до 4.23 ммоль/г. Общее содержание кислотных групп сходно для всех образцов ФК 6.28-6.86 ммоль/г.

При прямом титровании ГК было определено меньше групп, способных к диссоциации, чем при обратном титровании. Общее содержание кислотных функциональных групп в молекулах ГК по данным прямого титрования составляет 3.75-4.33 ммоль/г, тогда как при обратном титровании эта величина составляет 5.24-6.05 ммоль/г. Поскольку часть кислотных групп при прямом титровании оказалась инактивированной и не участвовала в реакции с титрантом, более корректными следует считать результаты, полученные при обратном титровании (табл. 6).

Таблица 6

Данные по содержанию основных функциональных групп в молекулах ГК по данным обратного титрования

Шифр	Содержание, ммоль/г			
	-COOH	-COOH и -OH	-OH	∑ общ.
T1	2,23	1,49	1,52	5,24
T2	2,23	1,67	1,45	5,35
T3	2,42	1,88	1,32	5,62
Среднее	2,29±0,11	1,68±0,20	1,43±0,10	5,40±0,20
П1	2,44	1,56	1,49	5,49
П2	2,6	1,88	1,23	5,71
П3	2,26	1,94	1,37	5,57
П4	2,31	1,76	1,42	5,49
П5	2,63	1,54	1,88	6,05
П6	2,65	1,67	1,65	5,97
Среднее	2,48±0,17	1,73±0,16	1,51±0,23	5,71±0,24

Обращает на себя внимание тот факт, что в целом доля кислотных групп в ФК, значительно выше, чем в ГК. Это может быть связано с конформационными эффектами, препятствующими полному определению карбоксильных и гидроксильных групп в ГК. Полученные результаты согласуются с данными элементного состава ФК, характеризующегося более высоким содержанием кислорода.

Заключение. Среднее значение массовой доли С, Н, О, N составило: для гуминовых кислот торфов — 53.83, 4.50, 37.55, 4.12 масс.%; для фульвокислот торфов — 38.25, 4.57, 54.66, 2.52 масс.% соответственно; для гуминовых кислот почв — 54.61, 3.61, 38.17, 3.61 масс.%; для фульвокислот почв — 45.32, 4.13, 47.78, 2.77 масс.% соответственно. Среднее значение отношения С/Н варьируют в пределах 0.96-1.12 для ГК торфов, 1.04-1.45 для ГК почв; 0.64-0.79 для ФК торфов и 0.82-1.13 для ФК почв. Таким образом, наибольшими значениями С/Н характеризуются ГК и ФК почв, что говорит о большем количестве заместителей водородных атомов в ароматических кольцах и алифатических цепочках их молекул. Данные по содержанию функциональных групп коррелируют с данными элементного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв РФ. М.: Наука, 1996. 256 с.
2. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 259 с.
3. Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ. В сб.: Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 16-27.
4. Rashid, M.A. *Geochemistry of marine humic compounds*. Oxford: Springer-Verlag, 1985. 243 p.
5. Зырин Н.Г., Орлов Д.С. Физико-химические методы исследования почв. М.: МГУ, 1980. 382 с.
6. Методы количественного органического элементного микроанализа / Под ред. Н.Э. Гельман. М.: Химия, 1987. 252 с.
7. Данченко Н.Н. Функциональный состав гумусовых кислот: определение и взаимосвязь с реакционной способностью: автореф. дисс. ... д-ра хим. наук. М.: Изд-во МГУ, 1997. 75 с.
8. Котов В.В., Ненахов Д.В., Гасанова Е.С., Стекольников К.Е. Состав и кислотно-основные свойства фракций фульвокислот чернозема выщелоченного. Воронеж: Изд-во ВГАУ, 2009. 210 с.
9. Перминова И.В., Жилин Д.М. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии. В сб.: Зеленая химия в России / Под ред. В.В. Лунина, П. Тундо, Е.С. Локтевой. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 146-162.
10. Perdue, E.M. Acidic Functional Groups of Humic Substances. In: *Humic substances in soil, sediment and water*. Ed. by Aiken G.R., McKnight D.M., Wershaw R.L., MacCarthy P. N.Y., 1985. Pp. 493-525.
11. Кухаренко Т.А. О молекулярной структуре гуминовых кислот. В сб.: Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 27-35.
12. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: Геос, 2009. 186 с.

REFERENCES

1. Orlov, D.S., Birjukova, O.N., Suhanova, N.I. *Organicheskoe veshchestvo pochv RF* [Soil Organic Matter in Russian Federation]. Moscow, 1996, 256 p. (in Russian).
2. Orlov, D.S. *Khimia pochv* [Soil Chemistry]. Moscow, 1992. 259 p. (in Russian).
3. Orlov, D.S. Properties and Functions of Humic Substances / In: *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic Substances in the Biosphere]. Moscow, 1993. Pp. 16-27. (in Russian).
4. Rashid, M.A. *Geochemistry of marine humic compounds*. Oxford: Springer-Verlag, 1985. 243 p.

5. Zyrrin, N.G., Orlov, D.S. *Fiziko-khimicheskie metody issledovaniia pochv* [Physical and Chemical Methods in the Study of Soils]. Moscow, 1980. 382 p. (in Russian).
6. *Metody kolichestvennogo organicheskogo elementnogo mikroanaliza* [Methods for Quantitative Organic Elemental Microanalysis] / Ed. by Gelman N.Ye. Moscow, 1987. 252 p. (in Russian).
7. Danchenko, N.N. *Funktsional'nyi sostav gumusovykh kislot: opredelenie i vzaimosviaz' s reaktsionnoi sposobnost'iu* (Avtoref. dokt. diss.) [Functional Composition of Humic Acids: Identification and Possible Reactivity (Extended Abstract of Doct.Sci. Diss.)]. Moscow, 1997. 75 p. (in Russian).
8. Kotov, V.V., Nenahov, D.V., Gasanova, E.S., Stekolnikov, K.E. *Sostav i kislotno-osnovnye svoystva fraktsii ful'vokislot chernozema vyshchelochennogo* [The Composition and Acid-Based Properties of Fulvic Acid Fractions of the Leached Chernozem]. Voronezh, 2009. 210 p. (in Russian).
9. Perminova, I.V., Zhilin, D.M. Humic Substances in the Context of Green Chemistry / In: *Zelenaja himija v Rossii* [Green Chemistry in Russia] / Ed. by V.V. Lunin, P. Tundo, E.S. Lokteva. Moscow, 2004. Pp. 146-162. (in Russian).
10. Perdue, E.M. Acidic Functional Groups of Humic Substances. In: *Humic substances in soil, sediment and water*. Ed. by Aiken G.R., McKnight D.M., Wershaw R.L., MacCarthy P. N.Y., 1985. Pp. 493-525.
11. Kuharenko, T.A. On the Molecular Structure of Humic Acids / In: *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic Substances in the Biosphere]. Moscow, 1993. Pp. 27-35. (in Russian).
12. Milanovsky, E.Yu. *Gumusovye veshchestva pochv kak prirodnye gidrofobno-gidrofil'nye soedineniia* [Humic Substances of Soil as Natural Hydrophobic-Hydrophilic Compounds]. Moscow, 2009. 186 p. (in Russian).

Автор публикации

Шигабаева Гульнара Нурчаллаевна — доцент кафедры органической и экологической химии Института химии Тюменского государственного университета, кандидат технических наук

Author of the publication

Gulnara N. Shigabayeva — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Department of Organic and Ecological Chemistry, Institute of Chemistry, Tyumen State University