

ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА БАХМЕТ

доктор биологических наук, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник лаборатории лесного почво-
введения, Институт леса Карельского научного центра Рос-
сийской академии наук (Петрозаводск, Российская Феде-
рация)

obahmet@mail.ru

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ КАРЕЛИИ*

В экологическом ряду подзолистых почв под сосновыми лесами исследован биохимический состав органического вещества, определено содержание как лабильных соединений, так и устойчивых к трансформации. В исследованных почвах водорастворимые соединения (моно- и дисахара) составляют незначительную часть углеводов, наибольшее их содержание отмечено в подзоле иллювиально-железистом под сосняком черничным. По мере увеличения или уменьшения увлажненности почв условия для трансформации опада ухудшаются, происходит накопление медленно минерализуемых нерастворимых полимеризованных углеводов (целлюлозы и стабильных гемицеллюлоз). Для состава органического вещества изученных почв характерно полное отсутствие гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием (II фракция), и очень незначительное или полное отсутствие гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с полуторными окислами (III фракция). В подзолах как гуминовые, так и фульвокислоты представлены подвижными формами, связанными с полуторными окислами или находящимися в свободном состоянии, что в целом характерно для подзолистых почв Карелии. Сравнительный анализ биохимического состава органического вещества почв хвойных и лиственных лесов показал, что поступление лиственного опада обуславливает высокую интенсивность трансформации растительных остатков. Такие почвы в сравнении с почвами под хвойными древостоями отличаются высоким содержанием лабильных соединений углеводов и преобладанием гуминовых кислот во фракционном составе гумусовых кислот.

Ключевые слова: органическое вещество, почвы, тайга, биохимический состав, углеводы, целлюлоза, гумусовые кислоты

Органическое вещество почв в значительной степени определяет направленность процессов почвообразования. Более того, биосферные и средообразующие функции лесных экосистем во многом определяются количественным и качественным составом органического вещества почв. Так, например, после вырубки древостоев уменьшается количество поступающего в почву органического вещества, снижается биологическая и биохимическая активность лесных подстилок и почв, что может привести к изменению естественных циклов углерода и азота в экосистеме и, следовательно, к потере экосистемой стабильности.

Многообразие форм органического вещества почв на всех этапах его образования и трансформации все еще остается мало изученным. Работ в области изучения химической природы гумусовых веществ довольно много – как российских ученых [2], [4], [5], [7], [8], [11], [12], так и зарубежных [14], [15], [16], [17], [18]. Однако остаются невыявленными особенности процессов минерализации и гумификации органического вещества в разных климатических подзонах. В Карелии исследования фракционного состава почв проводила Р. М. Морозова [6], углеводного состава лесных подстилок – Л. М. Загуральская

[3]. Но во многом биохимический состав почв Карелии остается мало изученным.

Поэтому целью настоящего исследования являлось изучение особенностей формирования и трансформации органического вещества лесных почв путем определения их биохимического состава.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН. Изучение органического вещества проводилось в подзолистых и торфяных почвах государственного природного заповедника «Кивач». В качестве объектов исследования был подобран ряд почв на водно-ледниковых песчаных отложениях под сосновыми лесами: подзол иллювиально-железистый под сосняком брусничным, подзол иллювиально-железистый под сосняком черничным и торфяная почва переходного типа под сосняком кустарничково-сфагновым. Для сравнения особенностей биохимического состава почв под хвойными и мелколиственными лесами был подобран еще один объект исследования – подзолистая почва под березняком злаково-разнотравным. Таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 1.

Таблица 1
Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Кол-во стволов, шт./га	Полнота	Сомкнутость крон	Запас, м ³ /га	Класс бонитета
<i>Сосняк брусличный</i>								
10C	170	26,0	34,6	324	0,88	0,5	404	II,5
<i>Сосняк черничный</i>								
10C	170	28,0	33,2	458	0,92	0,5	460	II,0
<i>Сосняк кустарничково-сфагновый</i>								
10C	120	9,0	10,5	1960	0,65	0,6	88	Vб
<i>Березняк злаково-разнотравный</i>								
10Б, ед. С	60	24,0	20,4	740	0,81	0,7	258	I

Автоморфные подзолистые почвы пробных площадей характеризовались четкой дифференциацией профиля на горизонты, мощность которых значительно варьировала в зависимости от растительности, элемента рельефа и условий увлажнения.

Подзолистые почвы отличаются высокой кислотностью, особенно низкие значения pH наблюдаются в лесной подстилке и подзолистом горизонте (табл. 2). Гидролитическая кислотность очень высока в лесной подстилке, с глубиной она резко снижается. Степень насыщенности основаниями отличается низкими значениями.

Почвы пробных площадей характеризуются довольно высокой обеспеченностью подвижными соединениями фосфора и калия, а также высокими показателями содержания углерода и общего азота в лесных подстилках. Однако отношение C : N в органогенных горизонтах значительно > 20, что свидетельствует о замедленном разложении органических остатков опада.

По сравнению с подзолами сосновых лесов подзолистая супесчаная почва под березняком характеризуется более низкой кислотностью и высоким содержанием гумуса в минеральных горизонтах и постепенным уменьшением содер-

Таблица 2
Физико-химические показатели почв пробных площадей

Горизонт	Глубина, см	pH		P ₂ O ₅	K ₂ O	GK	V	C	N	C : N
		H ₂ O	KCl	мг/100г	мг экв./100 г	%				
<i>Сосняк брусличный, подзол иллювиально-железистый песчаный</i>										
O	0–4(5)	3,5	2,7	26,8	78,1	151,9	4,2	43,10	1,08	39,9
E	4(5)–7(8)	4,0	3,0	1,7	1,8	8,7	0	0,81	0,08	10,12
Bf	7(8)–30	4,5	4,0	15,7	1,6	7,0	0	0,50	0,11	4,50
B2	30–50(60)	5,1	4,6	17,2	1,6	2,3	0	0,68	0,05	13,6
<i>Сосняк черничный, подзол иллювиально-железистый песчаный</i>										
O	0–3(7)	4,3	3,3	40,0	100,0	51,5	33,7	47,4	1,290	36,0
E	3(7)–10	4,3	3,3	1,0	1,7	5,7	14,9	0,80	0,084	9,5
Bhf	10–27	4,9	3,9	34,0	1,5	5,3	13,7	1,80	0,095	18,9
Bf	27–43	5,8	4,8	12,3	0,8	2,5	12,5	0,50	0,075	6,5
<i>Сосняк кустарничково-сфагновый, торфяная переходная почва</i>										
OT1	0–5	3,8	2,9	21,2	92,3	132,3	0	52,1	1,00	52,0
OT2	5–17	3,6	2,7	23,8	110,0	287,1	0	52,5	1,07	49,1
T1	17–30	3,6	2,6	18,9	84,6	210,5	9,6	48,74	1,75	27,9
<i>Березняк злаково-разнотравный, почва подзолистая супесчаная на суглинках</i>										
O	0–2	4,99	4,20	70,8	102,8	87,39	42,67	45,67	2,174	21,0
AE	2–8	4,81	3,79	18,5	5,06	8,47	28,88	1,69	0,148	11,4
E	8–12	4,99	3,87	6,7	1,81	4,68	0	0,53	0,030	17,7
B1	12–19	5,36	4,38	12,5	6,52	7,10	18,67	1,27	0,108	11,8

Примечание. GK – гидролитическая кислотность, V – степень насыщенности основаниями.

жания его с глубиной. В подзолистом горизонте повышенное содержание гумуса связано с накоплением в нем грубого гумуса.

На пробных площадях были сделаны опорные почвенные разрезы, на которых выполнены подробные макро- и мезоморфологические описания. Для биохимического анализа образцы лесных подстилок отбирались во второй половине сентября (в конце вегетации растений), определение показателей проводили по методике Ястребович, Килинина [13], в модификации Софроновой и др. [10]. Групповой и фракционный состав органического вещества почв определяли по методу [9] со спектрофотометрическим окончанием.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Интенсивность биохимических процессов в почве во многом зависит от содержания углеводов, которые являются источниками питания микроорганизмов, высших растений, служат материалом, из которого синтезируются гумусовые кислоты. Это наиболее подвижная часть углеводов, и уменьшение их содержания может быть связано как с миграцией вниз по профилю, так и с потреблением микроорганизмами. В исследованных почвах водорастворимые соединения (моно- и дисахара) составляют незначительную часть углеводов (рис. 1). Подгоризонты лесных подстилок различаются по количеству растворимых углеводов. В более минерализованных слоях уменьшается накопление моно- и дисахаров, что связано с активным потреблением их микроорганизмами и почвенными животными как энергетического материала.

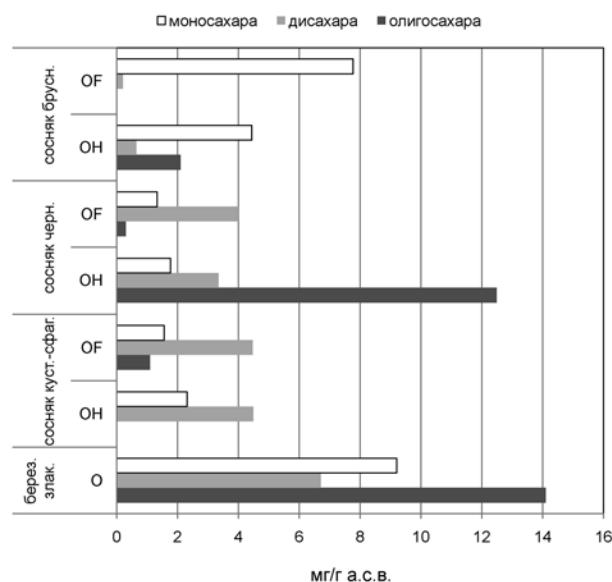


Рис. 1. Содержание водорастворимых углеводов в лесных подстилках

В ряду почв под сосняками оптимальные условия для гумификации и минерализации растительного опада создаются в подзоле иллюви-

ально-железистом под сосняком черничным, в подстилке которого концентрируется повышенное количество растворимых углеводов. По мере увеличения или уменьшения увлажненности почв условия для трансформации опада ухудшаются.

На этой же пробной площади отмечено наибольшее содержание лабильных гемицеллюз в лесной подстилке, что свидетельствует о сравнительно благоприятных условиях для трансформации органического вещества (рис. 2). В целом содержание лабильных гемицеллюз возрастает от верхних к нижним подгоризонтам лесных подстилок, что связано с большей интенсивностью процессов трансформации органического вещества в этой части почвенного профиля.

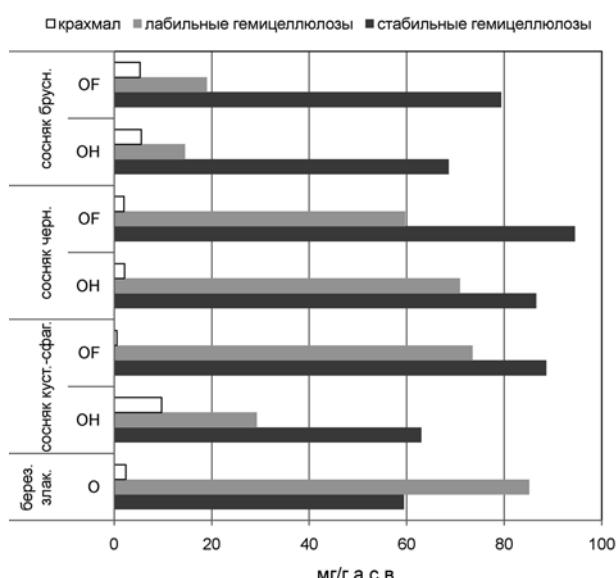


Рис. 2. Содержание крахмала, лабильных и стабильных гемицеллюз в лесных подстилках

Содержание крахмала в органогенном горизонте изученных почв было в целом невелико.

Важным для питания растений и микроорганизмов компонентом органического вещества являются медленно минерализуемые нерастворимые полимеризованные углеводы (целлюлоза и стабильные гемицеллюзы). Как показали проведенные исследования, наибольшее содержание целлюлозы отмечено в верхних подгоризонтах подстилки, с глубиной оно постепенно уменьшается, то есть снижается количество слабо-трансформированного растительного материала. В гидроморфных условиях такой закономерности не отмечается. В целом содержание целлюлозы в органогенном горизонте зависит от того, насколько благоприятны условия для разложения растительного опада, чем они лучше, тем меньше содержание целлюлозы. Большое количество стабильных гемицеллюз отмечено в верхних подгоризонтах лесных подстилок исследованных почв.

В органогенном горизонте подзолистой почвы березняка складываются наиболее благоприятные условия для трансформации органического вещества, поэтому и содержание трудно разлагаемых веществ в нем наименьшее.

Для состава органического вещества изученных почв характерны полное отсутствие гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием (II фракция), и очень незначительное или полное отсутствие гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с полуторными окислами (III фракция). Таким образом, в подзолах как гуминовые, так и фульвокислоты представлены подвижными формами, связанными с полуторными окислами или находящимися в свободном состоянии (табл. 3). Эта картина в целом характерна для подзолистых почв Карелии.

Горизонты изученных почв значительно различаются по составу гумуса. Так, в минеральных горизонтах содержание фульвокислот превышает количество гуминовых кислот в 2–3 раза. С глубиной относительное содержание фульвокислот увеличивается, а гуминовых снижается. В минеральных горизонтах отношение Сгк/Сфк всегда меньше 1, а с глубиной снижается до 0,1.

В лесных подстилках состав органического вещества несколько иной, чем в минеральных горизонтах, и обусловлен в основном составом растительного опада. Качественный состав опада определяет скорость его дальнейшей минерализации и состав органического вещества лесных подстилок. В них наблюдается иное соотношение между гуминовыми и фульвокислотами. Содержание гуминовых кислот увеличивается, и отношение Сгк/Сфк превышает 1.

Относительное накопление гуминовых кислот в лесных подстилках связано как с высокой подвижностью фульвокислот и выносом их в минеральные горизонты, так и с закреплением

гуминовых кислот в результате насыщения их кальцием и железом, освобождающимися при минерализации растительного опада. Возможно, достаточно высокое соотношение Сгк/Сфк (более 1) связано со значительным содержанием протогумусовых соединений, что отмечалось в работах [1], [7].

В процессе гумификации и минерализации растительного опада происходит накопление битумов (негидролизуемый остаток), которых содержится в подстилках тем больше, чем хуже условия для минерализации. Как показали данные биохимического анализа, наихудшие условия для трансформации органического вещества складываются в сосняке кустарничково-сфагновом.

ВЫВОДЫ

Исследование особенностей биохимического состава органического вещества почв Карелии под сосновыми лесами позволило разделить их на следующие группы: 1) автоморфные с низкой интенсивностью трансформации органического вещества; 2) автоморфные с относительно высокой скоростью разложения растительных остатков; 3) почвы в гидроморфных условиях, характеризующиеся замедленными процессами трансформации органического вещества. Все они значительно отличаются по биохимическим характеристикам органического вещества от почв под мелколиственным лесом.

В почвах первой группы минерализация опада происходит медленно, что подтверждается и биохимическим составом лесных подстилок, в которых отмечается особенно много воскоксмол и веществ типа битумов (негидролизуемого остатка) и мала доля водорастворимых углеводов.

Наиболее благоприятные условия для трансформации поступающего в почву органическо-

Таблица 3

Горизонт	Содержание общего углерода в почве, %	Фракции гуминовых кислот				Фракции фульвокислот				Сумма фракций	ГК/ФК
		1	2	3	сумма	1а	1	2	3		
<i>Сосняк брусничный, подзол иллювиально-железистый</i>											
O	39,8	8	4	1	13	0,2	9	0	1	10,2	23,2
Bf1	0,6	16	0	3	19	25	14	0	0,4	39,4	58,4
B2	0,3	0	4	0	4	40	0	0	1	41,0	45,0
<i>Сосняк черничный, подзол иллювиально-гумусово-железистый</i>											
O	45,0	10,1	0,6	12,7	23,4	1,1	8,6	6,4	8,0	24,1	47,5
E	1,3	18,2	1,0	2,3	21,5	24,6	12,7	4,0	7,2	48,5	70,0
Bhf	1,2	15,4	3,0	1,3	19,7	22,5	14,6	2,1	6,0	45,2	64,9
<i>Сосняк кустарничково-сфагновый, торфянная почва переходного типа</i>											
OT	42,7	25,3	2,1	3,4	30,8	5,3	1,8	0,8	8,1	16,0	46,8
<i>Березняк злаково-разнотравный, подзолистая почва</i>											
O	45,7	3,4	1,5	3,8	8,7	1,0	4,7	2,4	2,2	10,3	19,0
AE	1,7	21,3	1,8	11,2	34,3	8,9	13,6	4,7	1,8	29,0	63,3
Bhf	1,3	11,8	3,2	4,7	19,7	26,8	7,8	7,9	4,7	47,2	66,9

го вещества складываются в центральной части экологического ряда с оптимальными условиями увлажнения. По сравнению с предыдущей группой в этих условиях отмечается другой состав опада – появляется больше зеленых частей растений (от кустарничков), поэтому происходит более глубокая трансформация опада. Морфологически это выражается в большей разложенности органического материала, более интенсивном иллювирировании гумуса вниз по профилю. Изучение биохимического состава лесной подстилки показало повышенное количество растворимых углеводов.

В гидроморфных условиях разложение растительных остатков вновь замедляется. Значительную долю опада составляют долгомошные и сфагновые мхи. Данные биохимического анализа показали, что в таких условиях снижается доля водорастворимых углеводов, увеличивается доля целлюлозы, отмечаются высокие значения негидролизуемого остатка.

Значительно отличается от перечисленных выше органопрофиль подзолистой почвы под

березняком. Благодаря лиственному опаду трансформация органического материала в верхних горизонтах почвы идет достаточно интенсивно. Анализ биохимического состава органического вещества показал значительное содержание водорастворимых углеводов в верхних горизонтах почвы, изменился и состав гумуса. Гуминовые кислоты органогенного горизонта и следующего переходного к минеральной массе в значительной степени окислены. Для фульвокислот переходного горизонта отмечено высокое содержание углерода. По сравнению с почвами под сосняками процессы трансформации органического вещества в этих условиях протекают с большей скоростью, в результате чего органическое вещество более интенсивно вовлечено в биологический круговорот.

Проведенные исследования показали, что данные морфологического строения и биохимического состава лесных подстилок, а также органического вещества в почве в целом хорошо коррелируют друг с другом.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гришина Л. А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М., 1986. 202 с.
- Дергачева М. И. Система гумусовых веществ в почве. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1987. 35 с.
- Загуральская Л. М. Микробная трансформация органического вещества в лесных почвах Карелии. СПб.: Наука, 1993. 136 с.
- Кононова М. М. Органическое вещество почв. Его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
- Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Чуков С. Н. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв. СПб.: Наука, 2007. 145 с.
- Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л., 1991. 184 с.
- Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв. М., 1974. 315 с.
- Перминова И. В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2000. 50 с.
- Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.
- Софронова Г. И., Трубино Г. И., Шредер С. М., Макаревский М. Ф. К методике количественного определения углеводов в вегетативных органах сосны обыкновенной // Физиолого-биохимические исследования сосны на Севере. Петрозаводск, 1978. С. 119–133.
- Фокин А. Д., Князев Д. А., Кузяков Я. В. Включение ^{14}C и ^{15}N аминокислот и нуклеиновых оснований в гумусовые вещества и скорость обновления их атомно-молекулярного состава // Почвоведение. 1993. № 12. С. 39–46.
- Чуков С. Н. Изучение гумусовых кислот антропогенно нарушенных почв методом ^{13}C -ЯМР // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1085–1093.
- Ястребович Н. И., Калинин Ф. Л. Определение углеводов и растворимых соединений азота в одной навеске растительного материала // Научные труды Украинской академии сельскохозяйственных наук. 1962. Вып. 23. С. 119–126.
- Bayer C., Neto L. M., Mielniczuk J. et al. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage // Geoderma. 2006. Vol. 133. P. 258–268.
- Felbeck G. T. Structural hypotheses of soil humic acids // Soil Sci. 1971. Vol. 111. № 1. P. 42–48.
- Kawahashi M., Sumida H., Yamamoto K. Size and shape of soil humic acids estimated by viscosity and molecular weight // J. Colloid and Interface Science. 2005. Vol. 284. P. 463–469.
- Kogel-Knabner I. ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies // Geoderma. 1997. Vol. 80. P. 243–270.
- Stevenson F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. N.-Y., 1982. P. 172–194.

Bakhmet O. N., Forest Research Institute of Karelian Research Centre of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

BIOCHEMICAL COMPOSITION OF THE SOIL ORGANIC MATTER IN PINE FORESTS OF KARELIA

The ecological series of podzolic soils in pine forests was studied for the biochemical composition of organic matter and the content of both labile and stable compounds. In the surveyed soils, water soluble compounds (mono- and disaccharides) account for a minor part of the carbohydrate pool; their highest contribution is observed in the ferric Podzol in bilberry pine forests. Both the decrease and the increase of moisture in the soil deteriorate conditions for litter transformation. As a result a process of slow accumulation of mineralizable insoluble polymerized carbohydrates (cellulose and stable hemicelluloses) occurs. In the studied soils the organic matter contained no calcium-bound humic or fulvic acids (fraction II), and very little, if any, humic and fulvic acids tightly bound to sesquioxides (fraction III). Both humic and fulvic acids of Podzols were represented by labile forms either bound to sesquioxides or in free state, which is generally typical of podzolic soils in Karelia. A comparative analysis of the biochemical composition of the soil organic matter in coniferous and deciduous forests showed that the input of deciduous litter fall creates a higher rate of plant residues' transformation. In contrast to the coniferous forest substrate, these soils contain more labile carbohydrates, and humic acids prevail over fulvic acids.

Key words: organic matter, soil, taiga, biochemical composition, carbohydrates, cellulose, humic acids

REFERENCES

1. Grishina L. A. *Gumusoobrazovanie i gumusnoe sostoyanie pochv* [Humus formation and humus condition of soils]. Moscow, 1986. 202 p.
2. Dergacheva M. I. *Sistema gumusovykh veshchestv v poche: Aftoref. dis. ... d-ra biol. nauk* [The system of humic substances in the soil: Author's abst. Dr. biol. sci. diss.]. Novosibirsk, 1987. 35 p.
3. Zagural'skaya L. M. *Mikrobnaya transformatsiya organiceskogo veshchestva v lesnykh pochvakh Karelii* [Microbial transformation of organic matter in forest soils of Karelia]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1993. 136 p.
4. Kononova M. M. *Organicheskoe veshchestvo pochv. Ego priroda, svoystva i metody izucheniya* [Organic matter of soils. Its nature, properties and methods of study]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1963. 315 p.
5. Lodygin E. D., Bezносиков V. A., Chukov S. N. *Strukturno-funktional'nye parametry gumusovykh veshchestv podzolistykh i bolotno-podzolistykh pochv* [Structural and functional parameters of humus substances of podzolic and peat-podzolic soils]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007. 145 p.
6. Morozova R. M. *Lesnye pochyv Karelii* [Forest soils of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1991. 184 p.
7. Orlov D. S. *Gumusovye kisloty pochv* [Humic acids of soils]. Moscow, 1974. 315 p.
8. Perminova I. V. *Analiz, klassifikatsiya i prognoz svoystv gumusovykh kislot: Aftoref. dis. ... d-ra sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Analysis, classification and prognosis of the properties of humic acids: Author's abst. Dr. agricul. sci. diss.]. Moscow, 2000. 50 p.
9. Ponomareva V. V., Plotnikova T. A. *Gumus i pochvoobrazovanie* [Humus and soil formation]. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 222 p.
10. Sofronova G. I., Trubino G. I., Shreders S. M., Makarevskij M. F. On the method of quantitative determination of carbohydrates in vegetative organs of Scots pine [K metodike kolichestvennogo opredeleniya uglevodov v vegetativnykh organakh sosny obyknovennoy]. *Fiziologo-biokhimicheskie issledovaniya sosny na Severe*. Petrozavodsk, 1978. P. 119–133.
11. Fokin A. D., Knjazev D. A., Kuzakov Ja. V. Inclusion of ^{14}C and ^{15}N amino acids and nucleic bases in humic substances and the rate of renewal of their atomic-molecular composition [Vkluchenie ^{14}C i ^{15}N aminokislot i nukleinovyh osnovaniy v gumusovye veshchestva i skorost' obnovleniya ikh atomno-molekularnogo sostava]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 1993. № 12. P. 39–46.
12. Chukov S. N. The study of humic acids of anthropogenically disturbed soils by the ^{13}C -NMR method [Izuchenie gumusovykh kislot antropogenno narushennykh pochv metodom $^{13}\text{S}-\text{YaMR}$]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 1998. № 9. P. 1085–1093.
13. Jastrebovich N. I., Kalinin F. L. Determination of carbohydrates and soluble nitrogen compounds in a single sample of plant material [Opredelenie uglevodov i rastvorimykh soedineniy azota v odnoy naveske rastitel'nogo materiala]. *Nauchnye trudy Ukrainskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Scientific works of the Ukrainian Academy of Agricultural Sciences]. 1962. Issue 23. P. 119–126.
14. Bayer C., Neto L. M., Mielniczuk J. et al. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in subtropical Acrisol managed under no-tillage. *Geoderma*. 2006. Vol. 133. P. 258–268.
15. Felbeck G. T. Structural hypotheses of soil humic acids. *Soil Sci.* 1971. Vol. 111. № 1. P. 42–48.
16. Kawahigashi M., Sumida H., Yamamoto K. Size and shape of soil humic acids estimated by viscosity and molecular weight. *J. Colloid and Interface Science*. 2005. Vol. 284. P. 463–469.
17. Kogel-Knabner I. ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies. *Geoderma*. 1997. Vol. 80. P. 243–270.
18. Stevenson F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. N.-Y., 1982. P. 172–194.