

Эффективность влияния ресурсосберегающих систем обработки на структурное состояние почвы повышается по мере удаления полей сельскохозяйственных культур от пара и с увеличением длительности их применения.

Литература

1. *Вильямс В.Р.* Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1949. – 471 с.
2. *Докучаев В.В.* Избранные сочинения. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 680 с.
3. *Холмов В.Г.* Минимальная обработка и плодородие почвы // *Земледелие*. – 1986. – № 4. – С. 29–31.
4. *Абрамов Н.В.* Совершенствование основных элементов систем земледелия в лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Омск, 1992. – 32 с.
5. *Власенко А.Н.* Научные основы минимализации основной обработки почвы в лесостепи Западной Сибири. – Новосибирск, 1994. – С. 48–49.
6. *Гармашев В.М., Турусов В.И., Гаврилова С.А.* Изменение свойств чернозема обыкновенного при различных способах основной обработки // *Земледелие*. – 2014. – № 6. – С. 17–19.
7. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 415 с.
8. *Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М.* Практикум по земледелию. – М.: Колос, 1977. – 366 с.
9. *Долгов С.И.* Агрофизические методы исследования почв. – М.: Наука, 1966. – 547 с.
10. *Трушин В.Ф.* Интенсивное земледелие Среднего Урала. – Свердловск, 1990. – 245 с.



УДК 631.417.4

И.А. Хлыстов

УГЛЕРОД И АЗОТ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА

В статье рассматривается загрязнение почвы выбросами Медеплавильного завода, в результате чего происходит снижение концентраций водорастворимых органических веществ и гумуса, а также нарушение их внутрипрофильного распределения.

Ключевые слова: *загрязнение почв, Медеплавильный завод, водорастворимое органическое вещество, гумус, внутрипрофильное распределение.*

I.A. Khlystov

CARBON AND NITROGEN OF ORGANIC SOIL COMPOUNDS IN THE CONDITIONS OF THE POLLUTION BY THE COPPER SMELTING PLANT EMISSIONS

The soil pollution by the emissions of the Copper-smelting plant due to which there is the decrease in the concentration of the water-soluble organic substances and humus as well as the disorder of their intra-profile distribution is considered in the article.

Key words: *soil pollution, Copper-smelting plant, water-soluble organic substance, humus, intra-profile distribution.*

Введение. Содержание органического вещества в почве зависит от количества и состава поступающих органических остатков, скорости их гумификации и минерализации. Одной из важнейших характеристик, отражающих интенсивность протекания этих процессов, является зависимость между содержанием углерода и азота. Кроме этого, различные стадии трансформации органических веществ могут находиться в определенной зависимости друг от друга.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00686 А).*

Так, известно, что минерализация растительных остатков с высоким содержанием полифенолов и азота способствует увеличению количества гумусовых веществ с высоким содержанием азота [21]. Большая часть азота гуминовых кислот в подстилке и гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы входит в состав гидролизуемых соединений [15], а в серых почвах обогащение почвенного гумуса азотом может происходить за счет микробного белка [16]. Содержание подвижных органических соединений (экстрагируемых из почвы водой) влияет на микробную активность [5, 8], в свою очередь, увеличение содержания в них С и N указывает на процесс накопления гумуса в почве [2].

В настоящее время особенно остро стоит проблема промышленных загрязнений, губительно влияющих на биоту и приводящих к нарушениям почвенного покрова. Загрязнение можно считать основным фактором, ограничивающим поступление органического вещества в почву, изменяющим его дальнейшие пути трансформации и особенности внутрипрофильного распределения. В связи с этим возникает необходимость поиска индикаторов состояния органического вещества. На наш взгляд, к таким индикаторам долговременных техногенных нарушений можно отнести изменение концентраций и отношений С и N органических веществ.

Цель исследований. Анализ зависимостей содержания углерода и азота разных форм органического вещества почвы в условиях загрязнения выбросами крупного Медеплавильного завода.

Задачи исследований. Определение концентраций и массовых отношений углерода и азота водорастворимых органических веществ (ВОВ) и гумуса в образцах почвы; выявление закономерностей изменения параметров внутри профиля и в градиенте загрязнения.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на территории, подверженной многолетнему загрязнению выбросами Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), расположенного возле г. Ревды Свердловской обл. СУМЗ – одно из крупнейших предприятий цветной металлургии России, действующее с 1940 г.. Завод выбрасывает в атмосферу соединения серы, азота и фтора, а также твердovзвешенные частицы с сорбированными тяжелыми металлами (Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, Co, Fe) и металлоидами (As).

Роза ветров в районе исследований асимметрична: преобладающее направление ветра восточное. В западном направлении от СУМЗа по содержанию поллютантов в депонирующих средах и состоянию растительности ранее были выделены три зоны техногенной нагрузки – импактная (до 2 км от завода), буферная (до 7 км) и фоновая (далее 7 км).

Работы проведены на удалениях 30, 7, 4, 2, 1 км к западу от завода, в елово-пихтовых разновозрастных лесах с элементами неморального флористического комплекса, произрастающих в нижних частях пологих склонов увалов. С уменьшением расстояния до завода прослеживается закономерная трансформация растительности: древесный ярус деградирует, уменьшается видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса, лесное разнотравье замещается злаками и хвощами. В непосредственной близости от завода (1 км) преобладают мертвопокровные леса с сильно развитым одновидовым моховым слоем. Ранее была исследована реакция почвенного покрова [19] и почвенной биоты [9, 11] на выбросы СУМЗа, охарактеризована трансформация лесных фитоценозов [7].

Почвенный покров исследованных удалений представлен дерново-подзолистыми типичными (30 и 2 км), дерново-подзолистыми глееватыми (4 и 1 км), буроземами оподзоленными (7 км). Почвы импактной зоны (то есть на удалении 1 и 2 км) можно отнести к категории химически преобразованных.

На каждом удалении было заложено по 5 пробных площадей, расположенных на расстоянии 100–300 м друг от друга. В августе 2011 г. на каждой пробной площади заложили по одному полнопрофильному почвенному разрезу (всего 25) с отбором образцов по генетическим горизонтам (всего 167 проб).

Гумусовые вещества экстрагировали из почвы с помощью раствора 0,1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ и 0,1 н. NaOH. ВОВ экстрагировали дистиллированной водой при комнатной температуре в течение 24 ч (“холодное” экстрагирование; отношение почва:вода 1:5) и при 70°C в течение 20 ч (“горячее” экстрагирование; отношение почва : вода от 1:50 до 1:15) с последующей фильтрацией вытяжек через бумажные фильтры “синяя лента”. При комнатной температуре из почвы водой извлекаются органические кислоты [8], а горячая вода извлекает части микробной биомассы, растворимые углеводы, фенолы и другие высокомолекулярные органические вещества [5, 8]. Концентрации углерода и азота в почвенных вытяжках определяли термokatалитическим сжиганием в токе кислорода на автоматическом анализаторе Multi N/C 2100 (AnalytikJena, Германия). Все химические анализы выполнены в лаборатории экотоксикологии популяций и сообществ Института экологии растений и животных УрО РАН, аккредитованной на техническую компетентность (аттестат РОСС.RU0001.515630). Для анализа значимости различий параметров между участками использовали непараметрический критерий Краскела-Уоллиса, для оценки тесноты связи – коэффициент корреляции Спирмена. Анализ данных выполнен в программе Statistica 6.0.

Результаты исследований и их обсуждение. Внутривертикальные распределения углерода и азота, экстрагируемого из почвы холодной и горячей водой, на всех удалениях носят регрессивно-аккумулятивный характер: максимальные концентрации зарегистрированы в верхней части, с глубиной они резко падают (табл. 1). Минимальные концентрации C_{Cold} и C_{Hot} в подстилке обнаружены на 2 км, в гумусовом горизонте – на 1 км. Максимальные концентрации N_{Cold} и N_{Hot} в этих горизонтах выявлены на 7 км, а минимальные – на 1 км. Различия статистически значимы (табл. 2). В верхних горизонтах концентрации углерода и азота обеих форм ВОВ по мере приближения к заводу снижаются. Распределение отношения $C_{Cold}:N_{Cold}$ по профилю недифференцированное, но на некоторых участках имеется пик в гумусовом горизонте (рис.). Отношение $C_{Hot}:N_{Hot}$ максимально в гумусовом горизонте, а затем резко сужается, причем в элювиальной и иллювиальной части профиля оно уже, чем $C_{Cold}:N_{Cold}$. Максимальные значения $C_{Cold}:N_{Cold}$ и $C_{Hot}:N_{Hot}$ выявлены на 2 км в гумусовом и первом иллювиальном горизонте. Различия статистически значимы (табл. 2). С приближением к заводу $C_{Hot}:N_{Hot}$ в гумусовом горизонте увеличивается, достигая максимального значения на 1 км, равное 62.

Таблица 1

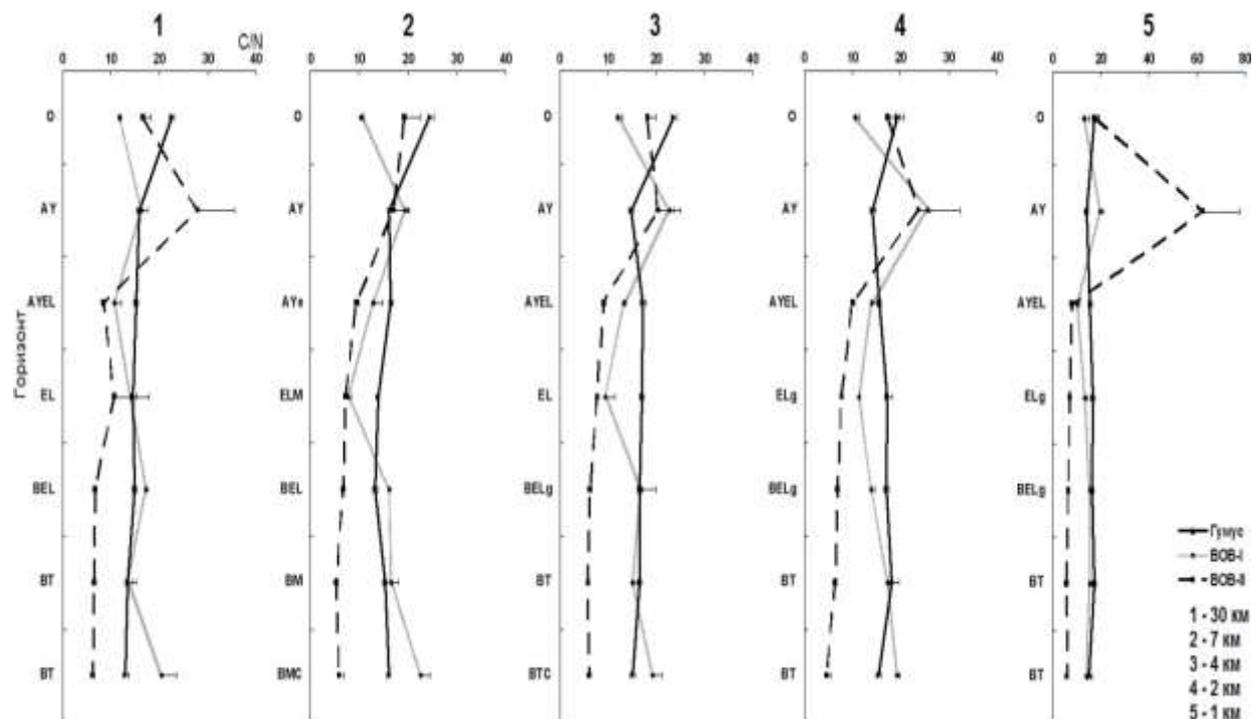
Углерод и азот органических веществ

Удаление от завода, км	Горизонт	Глубина, см	ВОВ					Гумус		
			C_{Cold}	N_{Cold}	C_{Hot}	N_{Hot}	n	C_{Hum}	N_{Hum}	n
30	О	0–2	1006,6±75,3	85,8±3,5	3326,8±214,8	209,4±24,4	5	16053,1±362,5	712,0±14,3	5
	AY	2–14	103,4±5,5	6,5±0,6	358,8±21,5	19,8±7,0	5	2242,6±49,9	141,8±4,0	5
	AYEL	14–21	68,8±3,5	6,7±1,2	127,9±4,0	15,3±0,4	3	1011,4±75,7	66,7±5,5	5
	EL	21–31	65,3±6,4	5,2±1,2	121,1±20,0	12,4±1,6	3	774,5±100,7	52,7±5,4	5
	BEL	31–44	47,4	2,7	59,8	9,1	1	562,5±44,4	37,9±2,4	5
	BT	44–55	42,6±0,3	3,3±0,5	53,7±3,6	8,3±0,2	3	508,7±40,2	39,2±5,4	5
	BT	55–...	46,2±3,7	2,3±0,2	51,5±0,1	8,5±0,6	2	473,6±27,6	36,7±2,6	4
7	О	0–2	1103,4±74,8	104,9±4,9	3272,9±119,3	189,8±28,9	5	15233,1±412,3	631,1±40,4	5
	AY	2–9	139,2±10,7	7,2±0,5	548,7±56,7	38,2±9,8	5	3746,6±345,4	229,1±14,9	5
	AYe	9–18	79,8±5,4	6,3±0,5	154,9±18,8	16,7±0,7	3	1395,1±112,0	85,3±8,5	5
	ELM	18–25	39,9±0,7	5,3±0,6	103,4±9,4	14,8±2,5	2	753,2±78,5	54,8±6,0	3
	BEL	25–38	39,7	2,5	54,0	8,1	1	494,5±55,7	37,2±4,1	5
	BM	38–52	39,2±1,9	2,4±0,1	42,3±5,6	8,6±2,0	3	355,5±27,5	24,5±1,3	4
	BMC	52–...	47,6±5,3	2,1±0,1	50,4±6,9	8,9±0,4	2	380,2±15,2	23,7±0,7	3
4	О	0–5	801,6±105,5	67,7±7,3	2868,3±188,0	165,8±19,3	5	15233,1±230,2	650,2±21,0	5
	AY	5–15	129,4±11,6	5,6±0,3	417,1±40,1	24,3±4,5	5	2862,6±178,4	193,9±11,1	5
	AYEL	15–23	75,7±2,6	5,7±0,1	134,1±21,9	15,0±2,0	3	1534,9±107,8	90,3±8,7	5
	EL	23–30	46,8±7,9	5,3±0,5	95,6±3,9	12,8±0,9	4	958,6±108,7	56,8±7,4	5
	BELg	30–43	45,4±1,2	2,9±0,5	55,8±7,9	9,0±1,1	3	659,6±22,3	39,9±1,7	5
	BT	43–55	43,0±0,8	3,0±0,3	47,1±1,9	8,3±0,2	4	470,3±7,3	28,3±0,6	5
	BTC	55–...	49,8±0,7	2,6±0,3	55,1±2,2	9,2±0,4	2	487,1±33,8	32,1±1,8	4
2	О	0–5	632,4±73,1	59,6±4,1	2395,5±153,7	153,2±20,3	5	14213,1±474,8	740,2±32,3	5
	AY	5–13	145,8±7,2	5,7±0,1	435,7±25,1	25,8±5,1	5	2930,6±214,4	205,4±9,4	5
	AYEL	13–21	76,2±2,7	5,5±0,4	171,8±17,3	17,3±1,3	3	1596,0±94,1	102,4±5,0	5
	ELg	21–29	63,3±7,4	5,6±0,6	90,0±10,7	11,8±0,7	3	991,2±96,6	58,9±7,6	5
	BELg	29–42	43,5±0,2	3,1±0,2	66,6±4,5	9,9±0,9	2	678,3±59,9	39,8±2,7	5
	BT	42–57	42,4±3,9	2,5±0,1	46,3±2,8	7,3±0,5	5	534,0±40,1	29,4±2,1	5
	BT	57–...	44,5±5,1	2,3±0,2	56,8±8,7	14,2±5,4	2	500,9±64,5	32,3±3,0	4
1	О	0–6	647,1±137,0	47,5±4,6	2303,7±299,7	138,2±20,4	5	13886,3±1455,2	805,6±57,2	5
	AY	6–14	102,2±7,3	5,1±0,1	349,1±30,8	7,6±2,8	4	2467,1±187,5	176,6±12,5	5
	AYEL	14–21	53,0±5,8	5,2±0,4	108,5±9,0	14,2±1,1	5	1132,0±132,9	73,5±9,7	5
	ELg	21–29	63,7±5,2	4,8±0,5	80,6±4,3	11,9±0,8	4	934,7±94,9	55,8±5,1	5
	BELg	29–39	47,1±2,9	3,1±0,4	59,1±3,6	9,4±0,4	3	624,9±65,8	37,5±2,9	5
	BT	39–54	41,5±4,8	2,7±0,2	45,9±1,8	8,6±0,8	5	498,3±14,6	28,8±0,9	5
	BT	54–...	34,7±7,8	2,4±0,2	45,7±10,3	8,0±1,1	2	419,9±13,4	28,0±1,7	4

Примечание. В таблице приведены средние значения (мг/100 г) ± ошибка среднего.

Распределение углерода и азота гумуса (C_{Hum} и N_{Hum}) в почвенном профиле на всех удалениях носит регрессивно-аккумулятивный характер (табл. 1). В подстилке максимальное значение N_{Hum} выявлено на 1 км, в гумусовом горизонте C_{Hum} и N_{Hum} достигают максимальных значений на 7 км, в гумусово-элювиальном – на 2 км. Различия между удалениями статистически значимы в верхней части профиля (табл. 2). По мере приближения к заводу концентрации C_{Hum} в подстилке и гумусовом горизонте снижаются, достигая минимальных значений на 1 км, а концентрации N_{Hum} в подстилке увеличиваются.

Внутрипрофильное распределение отношения $C_{Hum}:N_{Hum}$ на всех удалениях в целом одинаково: максимальные значения зарегистрированы в подстилке, а с глубиной отношение сужается (рис.). Значимые различия $C_{Hum}:N_{Hum}$ между участками обнаружены для всех горизонтов, кроме гумусово-элювиального и второго иллювиального (см. табл. 2). Отношения $C_{Hum}:N_{Hum}$ в подстилке и гумусовом горизонте максимальны на 7 км, с приближением к заводу они сужаются, достигая минимума на 1 км.



Внутрипрофильные распределения массовых отношений C:N форм органического вещества по удалениям. Планка погрешностей – ошибка среднего; VOB-I и VOB-II – органические вещества, экстрагируемые холодной и горячей водой

Таблица 2

Значения коэффициентов критерия Краскела-Уоллиса

Параметр	Горизонт						
	O	AY	AYEL (AYe)	EL (ELM)	BEL(g)	BT (BM)	BT(C) (BMC)
C_{Hum}	5,19	14,11 *	12,80 *	4,21	6,05	10,20 *	7,08
N_{Hum}	11,34 *	15,96 *	10,10 *	0,26	0,82	9,12	9,14
$C_{Hum}:N_{Hum}$	17,10 *	10,24 *	9,06	11,21 *	16,65 *	19,55 *	8,16
C_{Cold}	11,79 *	14,71 *	8,00	6,49	3,76	3,68	3,49
N_{Cold}	19,03 *	13,60 *	3,35	0,81	1,38	0,10	4,04
$C_{Cold}:N_{Cold}$	4,06	17,74 *	6,06	6,18	2,55	2,27	5,67
C_{Hot}	14,27 *	12,34 *	8,24	8,09	2,38	3,49	1,42
N_{Hot}	5,61	9,95 *	3,88	1,51	1,87	3,74	2,07
$C_{Hot}:N_{Hot}$	0,65	6,51	8,84	4,55	3,91	10,04 *	2,73

*P < 0,05.

Обнаружена умеренная положительная корреляция между внутривертикальным распределением $C_{Hum}:N_{Hum}$ и $C_{Hot}:N_{Hot}$ на 30-м и 7-м км (табл. 3), на 4-м и 2-м км корреляция между $C_{Hum}:N_{Hum}$ и $C_{Cold}:N_{Cold}$ отрицательная, на 1-м км величины друг с другом не коррелируют.

Таблица 3

**Связь между массовыми отношениями C:N гумуса и ВОВ внутри профиля,
(приведены значения R-Спирмена)**

Показатель	30 км		7 км		4 км		2 км		1 км	
	$\frac{C_{Cold}}{N_{Cold}}$	$\frac{C_{Hot}}{N_{Hot}}$								
$\frac{C_{Hum}}{N_{Hum}}$	-0,25	0,57 *	-0,05	0,59 *	-0,71 *	0,22	-0,61 *	-0,07	-0,11	-0,26
$\frac{C_{Cold}}{N_{Cold}}$		-0,19		-0,14		0,12		-0,03		0,13

* $p < 0,05$; для 30-го км $n=22$, для 7-го – 20, для 4-го – 26, для 2-го – 25; для 1-го км – $n=28$.

Содержание почвенного гумуса на отдаленных от завода участках совпадает с ненарушенными дерново-подзолистыми почвами Свердловской области и России [13; 18]. В литературе отсутствуют сведения о содержании углерода и азота в составе ВОВ, а также азота в составе гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах и буроземах. Согласно нашим данным и данным исследований территорий с аналогичным видом загрязнения, воздействия кислых газов и тяжелых металлов на почву вызывают изменения в содержании и составе гумуса [1, 4, 19], снижение концентраций углерода лабильных соединений [6; 17].

Нами были выделены факторы, которые могут привести к снижению концентраций углерода в импактной зоне. Во-первых, это значительное сокращение видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса по сравнению с буферной и фоновой зоной, преобладание видов-эксплерентов [10, 12], в результате чего уменьшается поступление опада. Многолетнее загрязнение привело к сокращению численности дождевых червей [9] и подавлению активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов [11], что отразилось на замедлении скорости деструкции органического вещества. Также в импактной зоне фиксировали эрозию отдельных горизонтов и всего органо-профиля [10, 20].

Уменьшение концентраций азота, входящего в состав простых и высокомолекулярных органических соединений (N_{Cold} и N_{Hot}) в градиенте загрязнения, вероятно, происходит вследствие низкого содержания азота в поступающем растительном опаде. Данные о содержании азота в растениях с территории СУМЗ и других импактных регионов отсутствуют.

Отсутствие тенденций изменения $C_{Cold}:N_{Cold}$ в градиенте, по-видимому, может свидетельствовать о схожем составе органических кислот, поступающих в почву в результате деструкции. Расширение отношения $C_{Hot}:N_{Hot}$ в гумусовом горизонте по мере приближения к заводу указывает на возможное снижение роли бактерий в разложении органического вещества и возрастании роли грибов. Грибы предпочитают более труднорастворимые остатки с высоким отношением C:N и доминируют на более поздних стадиях разложения [3]. Вследствие этого может образовываться грубый гумус, что было диагностировано нами в импактной зоне. Так как наиболее высокие отношения C и N обеих фракций ВОВ приходится на гумусовый горизонт, вероятнее всего, этот почвенный горизонт выступает в качестве нижней границы минерализации органического вещества на всех участках градиента.

Сужение отношения $C_{Hum}:N_{Hum}$ в подстилке и гумусовом горизонте, увеличение концентрации N_{Hum} в подстилке по мере приближения к заводу, вероятнее всего, происходит вследствие обогащения гумуса азотом из некоторых соединений. Как известно, на величину $C_{Hum}:N_{Hum}$ могут влиять белковые компоненты микроорганизмов и фиксированный минералами аммонийный азот [14]. В связи с этим уместно предположить, что с увеличением загрязнения те формы азота, которые переходят в состав гумуса, потребляются микроорганизмами в меньшей степени. Становится вероятным, что данные азотистые соединения не входят в группу ВОВ, поскольку отсутствуют какие-либо сходные тенденции изменения водорастворимых и гумусовых форм азота в подстилке.

Корреляция между внутривертикальным распределением $C_{Hum}:N_{Hum}$ и $C_{Hot}:N_{Hot}$ на 30-м и 7-м км свидетельствует о том, что компоненты высокомолекулярных органических соединений могут участвовать в образовании молекул гумуса. Отрицательная корреляция на приближенных к заводу участках (4-й и 2-й км), а также отсутствие связи между параметрами на 1-м км, говорит о нарушении взаимодействий между компонентами органического вещества почвы вследствие техногенной трансформации профиля.

Заключение. В градиенте загрязнения происходит снижение концентраций углерода и азота водорасстворимых органических веществ и углерода гумуса в верхних горизонтах, а также увеличение концентрации азота по сравнению с углеродом в гумусе подстилки. На всех участках градиента выявлены одинаковые закономерности внутрипрофильного распределения отношения C:N органических веществ. Наличие отрицательной корреляции между отношениями C:N органических веществ, либо отсутствие коррелятивных связей в наиболее загрязненных участках свидетельствует о нарушениях внутрипрофильного распределения органического вещества вследствие техногенеза.

Литература

1. Beyer L., Blume H. P., Irmeler U. The humus of a "Parabraunerde" (Orthic Luvisol) under *Fagus sylvatica* L and *Quercus robur* L and its modification in 25 years // *Annales des Sciences Forestieres*. – 1991. – Vol. 48. – № 3. – P. 267–278.
2. Assessing the short rotation woody biomass production on marginal post-mining areas /C. Böhm, A. Quinkenstein, D. Freese [et al.] // *Journal of forest science*. – 2011. – Vol. 57. – № 7. – P. 303–311.
3. The Role of Microbial Communities in the Formation and Decomposition of Soil Organic Matter / L. Condrón, C. Stark, M. O'Callaghan [et al.] // *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production*. – 2010. – P. 81–118.
4. Greszta J., Gruszka A., Wachalewski T. Humus degradation under the influence of simulated 'acid rain' // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1992. – Vol. 63. – № 1/2. – P. 51–66.
5. Landgraf D., Leinweber P., Makeschin F. Cold and hot water-extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. – 2006. – № 169. – P. 76–82.
6. Merckx R., Brans K., Smolders E. Decomposition of dissolved organic carbon after soil drying and rewetting as an indicator of metal toxicity in soils // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2001. – № 33. – P. 235–240.
7. Trubina M.R. Species richness and resilience of forest communities: combined effects of short-term disturbance and long-term pollution // *Plant Ecology*. – 2009. – Vol. 201. – P. 339–350.
8. Wang Q.K., Wang S.L. Soil organic matter under different forest types in Southern China // *Geoderma*. – 2007. – № 142. – P. 349–356.
9. Воробейчик Е.Л. Население дождевых червей (Lumbricidae) лесов Среднего Урала в условиях загрязнения выбросами медеплавильных комбинатов // *Экология*. – 1998. – № 2. – P. 102–108.
10. Воробейчик Е.Л. Изменение пространственной структуры деструкционного процесса в условиях атмосферного загрязнения лесных экосистем // *Изв. Академии наук. Сер. биол.* – 2002. – № 3. – P. 368–379.
11. Воробейчик Е.Л. Сезонная динамика пространственного распределения целлюлозолитической активности почвенной микрофлоры в условиях атмосферного загрязнения // *Экология*. – 2007. – № 6. – P. 427–437.
12. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садьков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.
13. Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области /.. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 396 с.
14. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
15. Гришина Л.А. Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 205 с.
16. Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
17. Копчик Г.Н., Лукина Н.В., Смирнова И.Е. Влияние атмосферного промышленного загрязнения на состав почвенных растворов подзолов // *Почвоведение*. – 2007. – № 2. – С. 223–234.
18. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
19. Прокопович Е.В., Кайгородова С.Ю. Трансформация гумусного состояния почв под действием выбросов Среднеуральского медеплавильного завода // *Экология*. – 1999. – № 5. – С. 375–378.
20. Прокопович Е.В., Мещеряков П.В., Коркина И.Н. Биогеоценологические связи и особенности почвообразования в лесных экосистемах импактной зоны Среднеуральского медеплавильного завода // *Природная и антропогенная динамика наземных экосистем: мат-лы Всерос. конф. (Иркутск. 11–15 окт. 2005 г.)*. – Иркутск, 2005. – С. 261–264.
21. Тейт Р. Органическое вещество почвы: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 400 с.

