

УДК 631.618

doi: 10.17223/19988591/18/2

Д.А. Соколов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия)

СПЕЦИФИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПЕДОГЕННОЙ ПРИРОДЫ В ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ КУЗБАССА

Рассматриваются вопросы, связанные с природой и свойствами органического вещества почв, сформированных на отвалах каменноугольных разрезов Кемеровской области. Показано, что компонентный состав исследуемых почв имеет сложную структуру и состоит из веществ литогенного, биогенного, педогенного и хемогенного происхождения. Предлагается способ определения содержания педогенных органических веществ в почвах отвалов каменноугольных разрезов. Выявлены особенности накопления и распределения органических веществ в почвах инициальной, органо-аккумулятивной, дерновой и гумусово-аккумулятивной стадий почвообразования в техногенных ландшафтах Кузбасса. Установлено, что образование органических веществ педогенной природы осуществляется не только путем гумификации биогенных соединений, но и посредством химического превращения продуктов литогенеза.

Ключевые слова: органическое вещество почв; эмбриоземы; гумус; педогенные вещества; литогенные соединения.

Введение

Известно, что преобразование в почвах органических веществ в гуминовые обусловлено развитием различных окислительно-восстановительных процессов. Если в естественных почвах в результате этих процессов поступающие органические вещества имеют биогенную природу, то в почвах техногенных ландшафтов к этим веществам добавляются соединения, имеющие литогенное происхождение [1]. Дальнейшее превращение веществ литогенной и биогенной природы в результате окислительных процессов происходит по двум направлениям. Первое из них – это педогенное преобразование веществ, или гумификация, посредством которой образуются гумусовые соединения [2]. Второе – это химическое окисление, или хемогенное преобразование, в результате которого не формируются гумусовые вещества, но из таких продуктов способны образовываться органические соединения, сходные с гумусовыми по свойствам.

Учитывая такую специфику процессов, протекающих в молодых почвах отвалов каменноугольных разрезов, органические вещества по их природе можно разделить на следующие группы: педогенные, биогенные, литогенные и хемогенные. При этом органические соединения *литогенной природы*

представляют собой вещества, образующиеся в результате литогенеза допочвенных этапов развития почвообразующих пород [3]. Эти вещества в исследуемых почвах содержатся в аргиллитах, алевролитах, песчаниках, углях и других породах, отсыпаемых при формировании техногенного ландшафта. Иными словами, изначально практически все соединения, входящие в состав отсыпаемых пород, можно отнести к литогенным. В результате действия гипергенеза литогенные вещества преобразуются либо в хемогенные, либо в педогенные соединения. Собственно литогенные органические соединения в достаточно «взрослом» техногенном ландшафте (30–40 лет) способны сохраниться только в центре крупных гранулометрических фракций или в камнях, где так же, как и в недрах земли, преобладают процессы восстановления [4].

Образование *хемогенных органических веществ* в почвах происходит в результате химических превращений соединений любой природы, протекающих без участия биогенных или педогенных процессов. В почвах эти вещества, как правило, формируются при окислении соединений литогенной, биогенной или педогенной природы. Важной особенностью хемогенных веществ является то, что преобразование их происходит через образование целого ряда устойчивых в данных условиях соединений. Исследуемые почвы характеризуются повышенным содержанием хемогенных органических соединений. Это обусловлено тем, что литогенные вещества в силу недостаточной развитости биогенных и педогенных процессов в значительной степени преобразуются химическим путем.

В отличие от них, *педогенными соединениями* следует называть вещества, преобразованные в результате действия элементарных почвенных процессов. К органическим веществам педогенной природы относятся гумусовые вещества. Формирование этих веществ находится в зависимости от всех факторов почвообразования, определяющих протекание почвенных процессов. В эмбриоземах ранних стадий эволюции почв этих веществ гораздо меньше, чем в естественных почвах. По мере развития почвы накопление педогенных органических соединений происходит медленно и заметно выражено только на дерновой и гумусово-аккумулятивной стадиях.

Особенностью педогенных органических веществ почв техногенных ландшафтов является то, что образование их возможно при вовлечении в гумификацию углистых частиц и продуктов их неполного окисления.

Биогенными соединениями называют те органические вещества, которые образуются в результате биологических процессов. Формирование таких веществ, как правило, происходит внутри живой клетки [5], и поэтому к биогенным компонентам относят довольно широкий спектр различных веществ. Это могут быть населяющие почву живые организмы, их продукты, выделяемые в процессе жизнедеятельности, а также остатки организмов, не утратившие анатомического строения.

Исходя из этого, следует отметить, что гумусообразование в почвах, сформированных на отвалах каменноугольных разрезов, возможно не толь-

ко из веществ биогенной природы, таких как лигнин [6], но и из хемотренных продуктов окисления углистых частиц, например фенолов [7].

Компонентный состав образовавшихся в таких условиях гуминовых веществ имеет очень сложную структуру, что определяет неоднородность их свойств и функций. Поэтому для понимания экологических и технологических проблем при рекультивации нарушенных земель необходимо уметь различать органическое вещество педогенного (гумус) и непедогенного происхождения.

К свойствам, благодаря которым можно отличить различные группы органических соединений, относятся:

1. Неодинаковая устойчивость к окислению.
2. Способность связываться с минеральной частью почвы.
3. Свойство определенных органических соединений извлекаться или осаждаться в различных растворах.

Материалы и методики исследования

Объектами исследований были выбраны почвы, сформированные на отвалах Ольжерасского каменноугольного разреза, расположенного в горно-таежной зоне Кузбасса. В настоящее время на поверхности отвала сформированы эмбриоземы, относящиеся, в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов [8], к типам инициальных, органо-аккумулятивных, дерновых и гумусово-аккумулятивных. В профиле каждого типа эмбриоземов по глубинам 0–10, 20–30 и 40–50 см отбирали образцы почвы, из которых впоследствии удаляли растительные остатки. Для сравнения были отобраны и проанализированы образцы зональных дерново-глубокоподзолистых почв, а также образцы углистых частиц и свежееотсыпанной вскрышной породы.

Принимая во внимание то, что все органические соединения представляют собой восстановленные вещества с различной степенью устойчивости к окислению, был разработан способ, позволяющий достаточно достоверно определить содержание органического углерода в исследуемых почвах [9]. Кроме этого, методом И.В. Тюрина определялось содержание углерода во фракции физической глины. Также методом И.В. Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой был определен групповой состав гумуса, содержащегося во фракции физической глины [10].

Результаты исследования и обсуждение

Исследования показали, что среднее по профилю содержание углерода в мелкоземной исследуемых почвах изменяется следующим образом: с 16,2% – в инициальном эмбриоземе, снижается до 11,3% в органо-аккумулятивном, и увеличивается до 11,9 и 13,9% – в дерновом и гумусово-аккумулятивном эмбриоземах (табл. 1). Повышенное содержание углерода в инициальном эмбри-

оземе объясняется высоким содержанием угля в почвообразующей породе. В последующие стадии эволюции почв при формировании органо-аккумулятивного и дернового эмбриоземов наблюдается резкое снижение количества органических соединений литогенной природы. Это вызвано развитием в этих типах почв биологических процессов, что сопровождается окислением углистых веществ. Далее на стадии формирования гумусово-аккумулятивных эмбриоземов снова наблюдается увеличение содержания углерода. Это объясняется тем, что в профиле гумусово-аккумулятивного эмбриозема хотя и сосуществуют органические вещества различной природы, тем не менее начинают накапливаться соединения биогенного и педогенного происхождения.

Таблица 1

**Расчетное и фактическое (по Тюрину) содержание гумуса
в гранулометрических фракциях почв**

Почва	Глубина (горизонт), см	Содержание физической глины в мелкозем, %	Содержание гумуса, %			
			в мелкозем по Тюрину	в физической глине	в почве при 100% гумуса в физической глине	в почве с учетом КГС
Дерново-глубокоподзолистая	0–3 (А _д)	42	5,18	6,35	2,66	–
	3–15(А _д , А _с)	48	3,84	6,62	3,21	–
	15–57(А _с)	56	0,86	1,32	0,74	–
	57–118(В ₁)	63	0,79	1,07	0,68	–
Инициальный эмбриозем	0–10	21	24,92	7,12	1,47	1,73
	20–30	20	30,96	5,66	1,15	1,35
	40–50	22	28,72	6,35	1,37	1,61
Органо-аккумулятивный эмбриозем	0–10	23	22,05	17,84	4,03	4,74
	20–30	29	19,21	11,68	3,33	3,91
	40–50	31	16,98	9,99	3,14	3,69
Дерновый эмбриозем	0–10	29	19,66	18,08	5,14	6,05
	20–30	30	23,65	15,70	4,74	5,57
	40–50	28	18,09	14,69	4,06	4,77
Гумусово-аккумулятивный эмбриозем	0–10	28	22,02	24,11	6,70	7,88
	20–30	31	25,23	18,77	5,86	6,89
	40–50	32	24,68	18,40	5,82	6,85

Таким образом, следует отметить, что развитие почвообразовательных процессов в эмбриоземах сопровождается усложнением природы органических веществ. Поэтому для определения содержания их педогенной составляющей необходимо обратить внимание также и на другие их свойства.

Наиболее важной особенностью, отличающей гумусовые вещества от других органических соединений почвы, является их способность прочно связываться с минеральной частью, в частности с фракциями менее 0,01 мм (физической глины). Поэтому с учетом того, что практически весь гумус по-

чвы сосредоточен в физической глине [11], наряду с традиционным определением гумуса в мелкозем были получены данные по содержанию гумуса во фракции физической глины (см. табл. 1).

При анализе материалов выяснилось, что содержание гумуса во фракции физической глины естественных почв меньше значений, полученных при анализе мелкозема по Тюрину. В среднем по профилю, за исключением биогенного горизонта A_d , содержание гумуса оказалось меньше на 15%. Следовательно, во фракции физической глины содержится не 100, а 85% гумуса, что согласуется с данными, полученными другими исследователями [12]. Возможно, подобное распределение гумуса в гранулометрических фракциях является зональной особенностью. Поэтому для характеристики этих явлений предлагается отношение количества гумусовых веществ в какой-либо гранулометрической фракции, пересчитанной на мелкозем, к общему количеству гумуса в мелкоземе называть *коэффициентом гранулометрической специфичности* (КГС) гумуса. Этот коэффициент можно применить и к другим веществам, содержание которых в какой-либо гранулометрической фракции отличается от другой, более крупной.

С применением расчета КГС гумуса к исследуемым почвам были получены следующие данные по содержанию в них гумуса (табл. 1). Очевидно, что содержание гумуса в профиле эмбриоземов значительно превышает таковое в зональных почвах. Подобное явление отмечается также и другими исследователями [2, 11, 12]. Это связано с тем, что расчет гумуса по содержанию углерода во фракции физической глины позволяет не учитывать органические вещества биогенной природы, не связанные с минеральной частью, а также литогенные вещества, способные сохраниться в центре более крупных гранулометрических фракций. Однако подобный расчет не позволяет отделить органику хемогенной природы от педогенной, поскольку, будучи производными литогенных, хемогенные вещества могут быть связаны с минеральной частью и встречаться во всех гранулометрических фракциях.

Сходство веществ хемогенной природы с веществами педогенного происхождения не случайно. Обе эти группы веществ являются продуктами аналогичных, преимущественно окислительных, процессов. Поэтому можно считать, что в эмбриоземах хемогенные вещества наряду с биогенными участвуют в процессах гумусообразования [13, 14] и являются *потенциально гумусовыми*, или *предгумусовыми, веществами* (ПГВ).

Учитывая эти особенности ПГВ, становится понятным, что для определения педогенной составляющей органических веществ необходимо использовать свойство гумусовых соединений растворяться в кислых или щелочных растворах. Известно, что по способности к растворению в различных растворах педогенные вещества (гумус) делят на три крупные группы. Это гуминовые кислоты ($C_{гк}$), растворимые только в щелочных растворах и осаждаемые в кислых растворах, фульвокислоты ($C_{фк}$), растворимые как в щелочных, так и в кислых растворах, и гумины ($C_{гум}$) – вещества, нераство-

римые или, негидролизуемые [10, 15]. Поэтому, основываясь на том, что в своем развитии эмбриоземы стремятся к климаксоному состоянию, которое характеризуется набором свойств, отвечающих условиям данной природно-климатической зоны [4], можно предположить, что соотношение групп веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов должно соответствовать таковому в зональных почвах.

Исследования, проводимые с образцами дерново-глубокоподзолистых почв, показали, что соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ в горизонтах, обогащенных органическим веществом (Ад), соответствует среднему соотношению этих фракций, отмечаемому в эмбриоземах. Это соответствие позволяет говорить о схожести формирующихся систем гумусовых веществ почв техногенных ландшафтов с таковыми зональных почв. Из этого следует, что отношение гидролизуемой и негидролизуемой частей гумусовых веществ в дерново-глубокоподзолистых почвах также должно соответствовать таковому в эмбриоземах. Однако анализ, проводимый на содержание негидролизуемой части гумусовых веществ в зональных почвах, показал, что содержание углерода этой группы составляет в среднем 21% от общего содержания углерода в физической глине (табл. 2). В то же время в образцах эмбриоземов этот показатель колеблется от 68 до 80%, т.е. в 3–4 раза превышает значения в дерново-глубокоподзолистых почвах. Превышение содержания углерода негидролизуемого остатка в эмбриоземах является следствием его хемотропной, а не педогенной природы.

Таблица 2

Расчетное соотношение гумусовых веществ в различных почвах

Почва	Глубина (горизонт), см	$C_{гк}/C_{фк}$	Содержание, %			
			$C_{фк} + C_{гк} + C_{гум}$ в физической глине	$C_{гум}$ в физической глине	$C_{гум} \cdot V_{фк} + C_{гк} + C_{гум}$	гумуса в мелкоземе с учетом КГС
Дерново-глубокоподзолистая почва	0–3 (Ад)	0,7	3,69	1,14	30,9	–
	3–15 (A ₁ A ₂)	0,4	3,85	1,68	43,6	–
	15–57 (A ₃)	0,3	0,77	0,10	13,0	–
	57–118 (B ₁)	0,2	0,62	0,07	11,3	–
Инициальный эмбриозем	0–10	0,9	4,14	2,82	68,1	0,70
	20–30	0,4	3,29	2,25	68,4	0,54
	40–50	0,4	3,69	2,62	71,0	0,59
Органо-аккумулятивный эмбриозем	0–10	0,5	10,37	7,54	72,7	1,64
	20–30	0,6	6,79	4,49	66,1	1,68
	40–50	0,4	5,81	3,72	64,0	1,68
Дерновый эмбриозем	0–10	0,8	10,51	8,00	76,1	1,83
	20–30	0,7	9,13	6,79	74,4	1,81
	40–50	0,7	8,54	6,34	74,2	1,56
Гумусово-аккумулятивный эмбриозем	0–10	0,8	14,02	11,28	80,5	1,95
	20–30	0,8	10,91	8,44	77,4	1,98
	40–50	0,8	10,70	8,45	79,0	1,83

Допустим, что содержание негидролизующихся педогенных веществ в эмбриоземах соответствует таковому в зональных почвах и составляет также 21%. В таком случае получим, что содержание хемотропных веществ, связанных в физической глине эмбриоземов, варьирует от 60 до 75% (табл. 2). Применяя подобную схему расчетов содержания гумуса в мелкоземе с учетом КГС, получим, что содержание органических веществ педогенной природы в эмбриоземах составляет только от 0,5 до 2%.

Полученные данные показывают, что колебания содержания гумусовых веществ в 30-сантиметровой толще профиля эмбриоземов, за исключением инициального, не превышают 0,05%, а ниже – достигают всего 0,25%. Это говорит о том, что формирование системы гумусовых веществ в профилях эмбриоземов идет на всех глубинах. Интенсивность этих процессов выражена через изменения содержания гумуса в мелкоземе. Так, в инициальном эмбриоземе образование гумусовых веществ осуществляется в результате развития хемотропных процессов. Активность этих процессов здесь во многом определяется количеством поступающего тепла и влаги, о чем и свидетельствует значительное увеличение содержания гумусовых веществ в слое 0–10 см этого эмбриозема по сравнению со слоем 20–30 см [16].

Следует обратить внимание также на то, что рассчитанное нами содержание гумуса в верхней части профиля инициального эмбриозема соответствует таковому в нижних горизонтах зональных почв (табл. 1, 2). Это дает основание предположить, что результатом воздействия на исходный субстрат хемотропных процессов является вовлечение в формирующиеся системы веществ литогенной природы.

В органо-аккумулятивном эмбриоземе, где к хемотропным процессам добавляются еще и биогенные, содержание гумуса в 2 раза больше, чем в инициальном эмбриоземе. Эта особенность показывает, что ведущую роль в формировании систем гумусовых веществ в этих почвах играют именно биогенные процессы. В дерновом и гумусово-аккумулятивном эмбриоземах гумусовый профиль характеризуется равномерным распределением с незначительным понижением содержания гумуса в нижней части профиля. Подобная картина говорит о том, что формирующиеся системы гумусовых веществ уже на данном этапе эволюции функционируют как системы климаксных почв.

Заключение

Исходя из всего вышеописанного, выделим наиболее важные особенности органических веществ почв техногенных ландшафтов:

1. Формирование эмбриоземов сопровождается накоплением в профилях почв педогенных и биогенных органических веществ и убылью веществ литогенной природы.

2. Темпы и характер накопления педогенных органических веществ сингенетичны стадиям почвообразования.

3. Образование органических веществ педогенной природы осуществляется не только путем гумификации биогенных соединений, но и посредством химического превращения продуктов литогенеза.

Литература

1. Соколов Д.А. Специфика накопления и распределения фракций восстановленных продуктов в эмбриоземах Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 315. С. 214–218.
2. Фаткулин Ф.А. Органическое вещество молодых почв техногенных экосистем Кузбасса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1988. 17 с.
3. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М. : Мысль, 1990. 275 с.
4. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
5. Уайт А., Хандлер Ф., Смит Э. Основы биохимии. М. : Мир, 1981. 532 с.
6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М. : Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
7. Flaig W. Generation of model chemical precursors // Proceedings of conference. Humic Substances and their Role in the Environment. Chichester, 1988. P. 75.
8. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск : Наука, 1992. 305 с.
9. Соколов Д.А. Способ определения фракционного состава восстановленных веществ отвалов каменноугольных разрезов. Патент РФ № 2375698. 10.12.2009.
10. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Л. : Наука, 1980. 222 с.
11. Крупенников И.А. Черноземы Молдавии. Кишинев : Карта Молдовенскэ, 1967. 427 с.
12. Кобцева М.А. Распределение гумуса и НРК по гранулометрическим фракциям почв // Материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов. Ростов н/Д : Росиздат, 2008. С. 24.
13. Комиссаров И.Д., Стрельцова И.Н., Кузнецова Т.П. Химическая природа гумусовых веществ молодых почв, техногенных элювиев и окисленных углей Кузбасса и их взаимодействие с минералами // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск : Наука, 1979. С. 212–257.
14. Трофимов С.С., Наплекова Н.Н., Кандрашин Е.Р. и др. Гумусообразование в техногенных экосистемах. Новосибирск : Наука, 1986. 165 с.
15. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
16. Соколов Д.А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 18 с.

Поступила в редакцию 20.10.2011 г.

Denis A. Sokolov*Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia***SPECIFICITY OF DETERMINATION OF PAEDOGENIC ORGANIC SUBSTANCES IN SOILS OF MAN-CAUSED LANDSCAPES OF KUZBASS**

It is known that transformation of organic substances to humus in soils is caused by Red-Ox processes development. In case of natural soils as a result of these processes incoming organic matter has biogenic nature, but in soils of man-caused landscapes to compounds of lithogenic origin add to these substances. Later lithogenic and biogenic substances conversion in the result of Red-Ox processes proceeds by two ways. The first is paedogenic transformation or humification by which humus compounds are produced. The second is chemical oxidation or chemogenic transformation in results of which humus matter is not forming, but organic substances like humus are able to be generated.

Component composition of humus formed in such conditions has complicated structure which determines heterogeneity of its properties and functions. Therefore for understanding ecological and technological problems when revegetating disturbed soils it is necessary to know how to distinguish paedogenic (humus) and non-paedogenic organic substances.

Soils formed on the burrows of Olgerass coal-pit located in mountain-taiga zone of Kuzbass were chosen as an object of research. In this time on surface of the burrow formed embryosems related, in accordance with classification of soils of man-caused landscapes, to initial, organo-accumulative, turf and humus-accumulative types. Samples of zonal sod-deep-podzol soils as well as coal particle and fresh capping rock were picked out and analyzed for comparison.

A suggested method of definition of paedogenic organic matter content in soils of burrows of coal-pits allowed registering that decreasing of lithogenic organic substances amount and accumulating of paedogenic compounds or humus take place in embryosems. So, humus content in soils under consideration increased from 0,7% in upper lay of initial embryosem to 2,0% on such depth in humus-accumulative embryosem. As calculated humus content in the initial embryosem profile upper part corresponds to a similar one in lower horizons of zonal soils, it suggests that the result of chemical processes influence on initial substratum is involving lithogenic substances in forming systems.

In turf and humus-accumulative embryosems humus profile is characterized by equal distribution with slight decrease in humus content in lower part of the profile. Such pattern indicates that forming humus substance systems on this stage of evolution function as similar systems in climacteric soils.

Thus, emphasizing most important features of organic matter of soils of man-caused landscapes, it is needed to distinguish the following: embryosems formation is accompanied by accumulation of paedogenic and biogenic organic substances and lithogenic substances decreasing in soil profiles; rate and nature of paedogenic organic matter accumulation are syngenetic to stages of soil-arising; paedogenic organic substances formation proceeds both by humification of biogenic compounds and chemical conversion of lithogenesis products.

Key words: *organic matter of soils; embryosems; humus; paedogenic matter; lithogenic substances.*