

Д.А. Соколов, О.Э. Мерзляков, Е.А. Доможакова

ОЦЕНКА ЛИТОГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ГУМУСОНАКОПЛЕНИЯ В ПОЧВАХ ОТВАЛОВ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-34-50963.

Статья посвящена решению важной проблемы, возникающей при оценке экологического состояния техногенных ландшафтов, – определению содержания углерода педогенных органических веществ (гумуса) в обогащенных углистыми частицами почвах. Авторами предложен подход, позволяющий определять литогенный потенциал гумусонакопления как максимально возможное содержание гумуса в почвах. Выявлены зональные закономерности формирования литогенной основы гумусонакопления в зависимости от выраженности аридности или гумидности климата.

Ключевые слова: техногенные ландшафты; почвообразовательные процессы; органическое вещество почв; эволюция почв; эмбриоземы.

Введение

Проблеме определения содержания педогенного органического вещества (гумуса) и его накопления в почвах техногенных ландшафтов в настоящее время во всем мире уделяется немало внимания [1–3]. Особенно эта проблема актуальна для техногенных объектов, представленных отвалами угольных разрезов, где почвообразующие породы характеризуются смесью, содержащей значительное количество углистых частиц, окисление которых сопровождается образованием ряда соединений, обладающих канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами.

Известны попытки установить содержание гумуса на «угольном фоне» с использованием радиоуглеродных [2, 3] и оптических методов [4], тяжелых жидкостей [5], окислительного фракционирования [1, 6], определения среднего содержания углерода по профилю [7] и седиментационного разделения [8]. Принято считать, что достаточно достоверные данные получают при помощи радиоуглеродных методов [9]. Однако их использование остается дорогостоящим и трудоемким, делая невозможным определение содержания педогенного органического вещества при проведении массовых анализов [10]. Несмотря на значительный интерес, проявляемый в мировой литературе к оценке гумусового состояния почв отвалов каменноугольных разрезов, работы, посвященные этому вопросу, часто проводятся без учета особенностей органико-минеральных взаимодействий педогенного органического вещества и литогенной основы почв.

Учитывая, что 95–97% педогенного органического вещества в почвах связывается с минеральной частью [11–13], возникает необходимость в оценке возможности к накоплению гумуса почвами. С этой целью в данной работе нами предпринята попытка, посредством оценки литогенного потенциала гумусонакопления выявить зональные закономерности аккумуляции педогенных органических веществ в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири.

Принципы, объекты и методы исследований

Весьма часто в почвоведении при оценке какого-либо признака используют термин «потенциал». Впервые этот термин стали применять при оценке окислительно-восстановительного или кислотно-щелочного состояния почв. Поначалу данное слово носило исключительно физический смысл и характеризовало силовое поле, возникающее в почвах в процессе их функционирования [14]. Несколько позже термин стали употреблять в гидрофизике почв [15], где под ним подразумевалась затраченная на перемещение влаги работа. Параллельно с этим слово «потенциал» стало употребляться как отражение совокупности почвенных свойств, выступающих в качестве определенного ресурса [16]. Более широкий смысл термин «потенциал» приобрел в почвоведении, когда им стали выражать также скрытые или в неполной мере реализованные условия почвообразования [17]. В частности, для процессов гумусонакопления употребляется словосочетание «почвообразующий потенциал климата» [18]. Такое понимание этого термина, закрепившееся в отечественном почвоведении, позволило его использовать и при оценке других условий, определяющих процессы образования и аккумуляции гумуса в почве. В первую очередь – при характеристике не менее важной для гумусонакопления литогенной основы [19]. Для удобства ее количественной оценки был предложен *литогенный потенциал гумусонакопления (ЛПГ)*, под которым понимается способность минеральной части почвы аккумулировать максимально возможное количество органического вещества при наиболее благоприятных условиях гумусонакопления. Из данного определения следует, что для оценки ЛПГ исследуемых объектов важны два критерия – количество и качество тонкодисперсных частиц, с которыми взаимодействует органическое вещество.

Поскольку для Сибири максимально гумусированными автоморфными почвами принято считать тяжелосуглинистые выщелоченные черноземы Кузнецкой котловины [20, 21], то и расчет ЛПГ для почв техногенных ландшафтов следует проводить, опираясь на

свойства черноземов. Максимальное содержание гумуса в выщелоченных черноземах составляет 12%. При этом стабилизация такого количества гумуса в почвах обеспечивается благодаря наличию тонкодисперсных фракций (физической глины) гидрослюди-сто-монтмориллонитового состава, содержание которых составляет в среднем 55%. Исходя из этого, литогенный потенциал гумусонакопления можно выразить по следующей формуле:

$$ЛПГ = R(\varepsilon) \cdot R(m.f.) \cdot R(n.c.),$$

где ЛПГ – литогенный потенциал гумусонакопления, %; $R(\varepsilon)$ – максимальное количество гумуса в эталонной почве. В данном случае за эталонную почву принимается тяжелосуглинистый выщелоченный чернозем с содержанием гумуса 12%.

$K(t.f.)$ – коэффициент специфичности исследуемых почв по содержанию тонкодисперсных фракций. Рассчитывается как отношение содержания физической глины в исследуемой почве к содержанию таковой в черноземе, т.е. к 55. Измеряется в долях от 1.

$K(p.c.)$ – коэффициент специфичности исследуемых почв по поглотительной способности минеральной части, в долях от 1. Рассчитывается как отношение поглотительной способности почвообразующих пород техногенных ландшафтов (техногенного элювия) к таковой черноземов (лессовидных суглинков). Измеряется в долях от 1.

Объектами исследования послужили эмбриоземы, сформировавшиеся на поверхности старых (более 20 лет) отвалов каменноугольных разрезов Сибири. На исследуемых территориях были отмечены инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные эмбриоземы. Как указывают авторы используемой нами классификации [22], каждому типу эмбриоземов соответствует определенная стадия почвообразования. Поскольку добыча каменного угля открытым способом в Сибири ведется в нескольких регионах и техногенные ландшафты занимают довольно большую площадь (100–300 тыс. га по разным оценкам), климатические условия формирования эмбриоземов неоднородны. Для изучения были выбраны эмбриоземы автономных позиций, расположенных в гумидном и субгумидном (горно-таежная и лесостепная зоны Кемеровской области), семиаридном (степи Хакасии), а также аридном и аридном экстраконтинентальном климате (степи Тувы) (табл. 1). Общность геологических условий залегания каменных углей обусловила сходство почвообразующего субстрата, представленного, как правило, техногенным элювием осадочных пород (аргиллитов, алевролитов, песчаников). В состав элювия часто входит до 10 и более процентов угля [23]. Такой субстрат способствует формированию сильнокаменистых эмбриоземов: в их гранулометрическом составе присутствует более 70% каменистых фракций и менее 10% глинистых частиц.

Для расчета коэффициентов специфичности определение содержания тонкодисперсных фракций осуществлялось методом Н.А. Качинского [26]. Однако,

поскольку применение седиментометрических методов при работе с углесодержащими образцами дает искусственное увеличение содержания тонких фракций и, как следствие, расчетное утяжеление гранулометрического состава [27], то для корректировки полученных данных учитывалось также содержание органического углерода во фракции физической глины. Помимо исследуемых почв, содержание тонких частиц определялось и в почвообразующих породах (лессовидных суглинках и техногенном элювии).

Коэффициенты специфичности по поглотительной способности оценивались по значениям ёмкости катионного обмена, определяемой методом Бобко–Аскинази–Алешина в модификации ЦИНАО [28]. Ёмкость катионного обмена определялась в образцах лессовидных суглинков, взятых с борта Листвянского угольного разреза Кемеровской области, а также в образцах безуглистого техногенного элювия, выступающего в качестве почвообразующей породы для рассматриваемых объектов. Эталонном при оценке возможностей эмбриоземов к гумусонакоплению были выбраны тяжелосуглинистые выщелоченные черноземы Кузнецкой котловины, которые принято считать максимально гумусированными автоморфными почвами для Сибири [20, 21].

Результаты и обсуждение

Рассматривая гранулометрический состав мелкозема и фракционный состав крупнозема как показатели, характеризующие условия гумусонакопления, следует обратить внимание на то, что в момент формирования отвалов почвообразующие породы представляют собой хаотическую смесь из обломков различного материала [29]. При этом количество способных образовывать органо-минеральные комплексы частиц в материале отвалов редко превышает 10% [30]. В почвах их содержание может изменяться в зависимости от скорости и типа выветривания обломочного материала. Выраженное накопление тонкодисперсных частиц происходит только в процессе химической, биохимической, реже биофизической дезинтеграции [31].

Расчет коэффициентов специфичности по содержанию тонкодисперсных фракций показал, что при всей исходной хаотичности литогенной основы почвообразующих пород в гранулометрическом составе почв существуют определенные различия, которые носят закономерный характер. Проявляется это, во-первых, в эволюционном ряду: коэффициенты специфичности увеличиваются в органо-аккумулятивных эмбриоземах по сравнению с инициальными и далее – в дерновых и гумусово-аккумулятивных. Во-вторых, существуют различия в географическом ряду. Коэффициенты максимальны в почвах территорий, для которых индекс аридности (I_a) близок к 0, и уменьшаются по мере усиления аридности и гумидности климата. Отмечается, что специфичность исследуемых почв по содержанию тонкодисперсных фракций определяется в большей степени эволюцией почв, а в меньшей – климатиче-

скими условиями их формирования. Исключение составляют почвы, сформированные в условиях гумидного климата ($I_a = -0,40$), что, по всей видимо-

сти, связано с проявлением здесь элювиальных процессов, интенсивно протекающих в автоморфных почвах данной климатической зоны [32].

Т а б л и ц а 1

Климатические условия гумусонакопления в почвах исследуемых объектов

Показатель	Название углереза				
	Ольжерасский	Листвянский	Черногорский	Чаданский	Каа-Хемский
Геоморфологический район	Кузнецкий Алатау	Кузнецкая котловина	Минусинская котловина	Хемчикская котловина	Центрально-Тувинская котловина
Тип климата	Гумидный	Субгумидный	Семиаридный	Аридный	Аридный экстроконтинентальный
Сумма температур выше 10, °С	1 500–1700	1 700–1 900	1 900–2 000	2 100–2 200	2 100–2 200
Среднегодовая температура, °С	– 0,1	2,1	1,6	– 2,0	– 1,3
Осадки за год, мм	750–1 400	400–500	250–300	220–270	170–250
Индекс аридности, I_a^*	– 0,40	– 0,10	0,15	0,20	0,51
Эмбриоземы **	Инициальные, органо-аккумулятивные	Инициальные, дерновые, органо- и гумусово-аккумулятивные	Инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые	Инициальные, органо-аккумулятивные	Инициальные, органо-аккумулятивные

* I_a – индекс аридности, рассчитывался как $\log_{10} (E/P)$, где E – средняя многолетняя испаряемость с открытой водной поверхности, P – средняя многолетняя сумма осадков [24].

**Перечислены типы почв, встречающиеся на отвалах каменноугольных разрезов районов исследований [25].

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты специфичности эмбриоземов по содержанию тонкодисперсных фракций

Индекс аридности	Эмбриоземы			
	инициальные	органо-аккумулятивные	дерновые	гумусово-аккумулятивные
– 0,40	0,05	0,07	0,09	–
– 0,10	0,13	0,16	0,29	0,45
0,15	0,16	0,29	0,33	–
0,20	0,10	0,25	–	–
0,50	0,07	0,16	–	–

Поскольку литогенный потенциал гумусонакопления определяет не только содержание в почвах тонкодисперсных частиц, но и их способность взаимодействовать с органическим веществом [33], была предпринята попытка дать качественную оценку почвообразующим породам исследуемых объектов. Как известно, основным источником тонкодисперсных фракций в почвах каменноугольных отвалов являются аргиллиты, алевролиты и песчаники [29, 31].

Несмотря на то что тяжелые фракции этих пород представлены преимущественно кварцем и слюдами, а легкие – рудными минералами, цементирующий их материал представлен глинистыми частицами. Доля цемента от объема породы колеблется в пределах 65–70% у аргиллитов, 15–35% у алевролитов и 5–20% у песчаников. Как указывает Ф.К. Рагим-заде [34], преобладающими минералами во фракции <0,001 мм аргиллитов, алевролитов, а также лессовидных суглинков Кузнецкого каменноугольного бассейна являются гидрослюда и монтмориллонит, сопутствующими – хлорит, каолинит и кварц. Соотношение этих минералов в тонкодисперсной фракции, а также ее содержание и формирует погло-

тельную способность почвообразующих пород техногенных ландшафтов.

Результаты исследования показали, что значения емкости поглощения различных образцов почвообразующих пород черноземов (лессовидных суглинков) варьируют в достаточно широких пределах – от 15 до 30 мг-экв. на 100 г субстрата. Однако если учитывать при этом содержание физической глины, т.е. оценивать абсолютную ЕКО, то значения будут иметь существенно меньший разброс. Так, если максимальные значения относительной ЕКО могут превышать минимальные вдвое, то при учете содержания физической глины это отношение сокращается до 1,5 раза.

Оценивая поглотительную способность безуглистого техногенного элювия, можно заметить, что значения относительной ЕКО имеют существенно больший разброс по сравнению с образцами лессовидных суглинков – от 1,3 до 3,5 раза. В то же время интервал значений абсолютной ЕКО не превышает 1,3. Полученные данные показывают, что исследуемые образцы лессовидных суглинков и техногенного элювия имеют близкие значения абсолютной ёмкости катионного обмена, хотя для первых характерны более значительные колебания между минимальны-

ми и максимальными показателями. Возможно, отмеченная особенность является следствием того, что вынесенные на поверхность вскрышные породы, являясь продуктом метаморфизации осадков лагуновых и прибрежно-морских отложений, имеют сравнительно однородный минералогический состав тонкодисперсной части [35, 36]. В отличие от них, в

формировании лессовых отложений Кузнецкой котловины, как указывает С.С. Трофимов [20], принимали участие как продукты выветривания пород, лежащих в основе Кузнецкого Алатау и Салаира, так и продукты эолового седиментогенеза, характеризующиеся несколько более высокой степенью зрелости минеральной части.

Таблица 3

Отношение емкости поглощения к содержанию тонкодисперсных фракций в образцах лессовидных суглинков

Номер образца лессовидного суглинка	ЕКО, мг-экв на 100 г	Содержание		Отношение ЕКО/содержание фракции < 0,01 мм
		фракции < 0,01 мм, %	С _{орг} , %	
1	26,5	59,8	0,32	0,44
2	30,2	60,1	0,29	0,51
3	15,4	36,5	0,31	0,42
4	17,4	52,7	0,38	0,33
5	25,4	55,1	0,51	0,46
НСР 05	2,21	0,33	0,21	–

Таблица 4

Отношение емкости поглощения к содержанию тонкодисперсных фракций в образцах мелкозема техногенного злювия

Углеразрез	ЕКО, мг-экв на 100 г	Содержание		Отношение ЕКО/содержание фракции < 0,01 мм
		фракции < 0,01 мм, %	С _{орг} , %	
Ольжерасский	14,5	29,0	0,64	0,50
Листвянский	18,0	38,3	0,59	0,47
Черногорский	11,5	25,6	0,44	0,45
Чаданский	4,9	12,7	0,28	0,39
Каа-Хемский	6,6	16,0	0,33	0,41
НСР 05	1,31	0,46	0,21	–

Проведенные исследования по определению поглотительной способности почвообразующих пород техногенных ландшафтов Сибири показали, что их емкость катионного обмена при схожем гранулометрическом составе соответствует таковой пород, на которых сформированы принятые за эталон тяжело-суглинистые выщелоченные черноземы. Это обстоятельство говорит о сходстве минералогического состава тонкодисперсной части почвообразующих пород не только в пределах Кузнецкого угольного бассейна [33], но и других месторождений каменных углей Сибири. По этой причине при дальнейшем расчете ЛППГ поправочный коэффициент на величину поглотительной способности принимался за 1.

Таким образом, оценив содержание тонкодисперсных фракций и поглотительную способность почвообразующих пород, получается, что для почв, сформированных на поверхности отвалов каменноугольных разрезов Сибири, литогенный потенциал гумусонакопления пропорционален содержанию в них тонкодисперсных фракций.

При расчете значений ЛППГ было установлено, что наименьшим потенциалом обладают инициальные эмбриоземы (рис. 1). Максимальное количество гумуса, которое могут накопить эти почвы, составляет от 0,6 до 2%. По сравнению с ними, органо-аккумулятивные и дерновые эмбриоземы имеют более высокие значения: от 1,8 до 3,5% и от 3,5 до 4,0% соответственно. Максимальным литогенным потен-

циалом гумусонакопления (5,5%) характеризуются гумусово-аккумулятивные эмбриоземы.

Оценивая зональные особенности распределения значений ЛППГ, следует отметить, что наименьшим потенциалом обладают эмбриоземы, сформированные в условиях гумидного климата ($I_a = -0,40$). Благодаря тому что интенсивность процессов выноса тонких частиц из верхней части профиля преобладает над интенсивностью процессов дезинтеграции, ЛППГ всех типов почв остается на уровне инициального эмбриозема. Полученные данные позволяют понять, почему в данной природно-климатической обстановке на поверхности техногенных ландшафтов, даже если и формируются дерновые и гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, они со временем уступают место органо-аккумулятивным (рис. 1) [25].

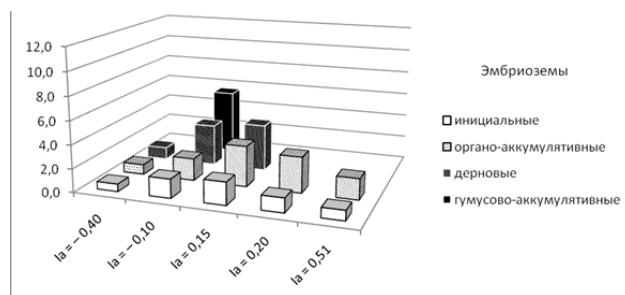


Рис. 1. Литогенный потенциал гумусонакопления эмбриоземов каменноугольных разрезов Сибири, %

В меньшей степени сказываются элювиальные процессы на гумусонакоплении в почвах, сформированных в условиях субгумидного климата ($I_a = -0,10$). Здесь это заметно только в инициальных и органо-аккумулятивных эмбриоземах, ЛППГ которых не превышает 2%. В дерновых эмбриоземах, т.е. почвах с более развитым органопрофилем, элювиальные процессы уже практически не влияют на гумусонакопление. В гумусово-аккумулятивных эмбриоземах величина ЛППГ уже максимальна, что проявляется морфологически, при формировании в профиле соответствующего горизонта, и обеспечивается легкосуглинистым гранулометрическим составом субстрата.

В почвах техногенных ландшафтов степных районов литогенный потенциал гумусонакопления снижается по мере возрастания индекса аридности. Наиболее ярко выражена эта закономерность в инициальных эмбриоземах, где на значениях ЛППГ, помимо снижения интенсивности дезинтеграции пород, сказывается также и дефляция.

Таким образом, несмотря на то что в процессе выполнения работы не ставилась цель определить содержание гумуса в исследуемых почвах, полученные результаты позволяют прогнозировать максимально возможные его значения в сложившихся условиях почвообразования. В итоге использование даже такого приближенного показателя, как литогенный потенциал гумусонакопления (ЛППГ), открывает новые возможности для проведения исследований по оценке экологического состояния и ресурсного потенциала почв техногенных ландшафтов.

Проведенные исследования по оценке ЛППГ и выявлению зональных закономерностей возможной аккумуляции педогенных органических веществ в исследуемых почвах показали следующее:

1. Величина литогенного потенциала гумусонакопления почв отвалов каменноугольных месторождений Сибири пропорциональна содержанию в них тонкодисперсных фракций.

2. Значения литогенного потенциала гумусонакопления имеют определенные количественные интервалы для каждого типа эмбриоземов и возрастают в эволюционном ряду. Наименьшим потенциалом обладают инициальные эмбриоземы – от 0,6 до 2%. Органо-аккумулятивные и дерновые эмбриоземы имеют значения от 1,8 до 3,5% и от 3,5 до 4,0% соответственно. Максимальным ЛППГ характеризуются гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, около 5,5%.

3. Наиболее благоприятные условия для формирования литогенной основы гумусонакопления складываются в районах с индексом аридности, близким к 0 (субгумидный и семиаридный климат). По мере усиления аридности и гумидности климата значения ЛППГ снижаются.

4. Литогенный потенциал гумусонакопления определяется в большей степени стадией эволюции почв, а в меньшей – климатическими условиями их формирования. Исключение составляют гумидные районы, где ЛППГ всех типов почв остается на уровне инициальных эмбриоземов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schmidt M.W.I., Skjemstad J.O., Czimczik C.I., Glaser B., Prentice K.M., Gelinas Y., Kuhlbusch T.A.J. Comparative analysis of black carbon in soils // *Global Biogeochemical Cycles*. 2001. № 15. P. 163–167.
2. Rumpel C., Balesdent J., Groote P., Weber E., Kogel-Knabner I. Quantification of lignite- and vegetation-derived soil carbon using ^{14}C activity measurements in a forested chronosequence // *Geoderma*. 2003. № 112. P. 155–166.
3. Ussiri D.A.N., Lal R. Method for determining coal carbon in the reclaimed mines soils contaminated with coal // *Soil science society of America journal*. 2008. № 72. P. 231–237.
4. Brodowski S., Amelung W., Hamaier L., Abetz C., Zech W. Morphological and chemical properties of black carbon in physical soil fractions as revealed by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy // *Geoderma*. 2005. № 128. P. 116–129.
5. Фаткуллин Ф.А. Органическое вещество молодых почв техногенных экосистем Кузбасса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1988. 17 с.
6. Соколов Д.А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 17 с.
7. Семина И.С. Оценка и рациональное использование природных ресурсов для рекультивации почв в горно-таежной зоне Кузбасса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 19 с.
8. Соколов Д.А. Специфика определения органических веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2012. № 2. С. 17–25.
9. Morgenroth G., Kretschmer W., Scharf A., Uhl T., Fettweis U., Bens O., Huttel R.F. ^{14}C measurement of soil in post-mining landscapes // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 2004. № 223. P. 568–572.
10. Ussiri D.A.N., Lal R. Methods for determination of coal carbon in reclaimed mines soils // *Geoderma*. 2014. № 214. P. 155–167.
11. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
12. Lutzow M., Kogel-Knabner I., Ludwig B., Matzner E., Flessa H., Ekschmitt K., Guggenberger G., Marschner B., Kalbitz K. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2008. № 171. P. 111–124.
13. Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М. : ГЕОС, 2010. 240 с.
14. Кононова М.М. ОБ потенциал как метод характеристики почвенных условий при различных способах орошения // *Почвоведение*. 1932. № 3. С. 365–376.
15. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М. : МГУ, 1984. 204 с.
16. Переверзев В.Н. Агроэкологический потенциал окультуренных подзолистых почв как основа устойчивого земледелия на Севере // *Ресурсы потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России*. СПб. : Изд. Дом СПбГУ, 2011. С. 86–87.
17. Шоба С.А., Герасимова М.И., Таргульян В.О., Урусевская И.С., Алябина И.О., Макеев А.О. Почвообразующий потенциал природных факторов // *Генезис, география и экология почв*. Львов, 1999. С. 90–92.
18. Почвообразующий потенциал климата для процесса гумусонакопления. Масштаб 1:35 000 000 / М.И. Герасимова, И.О. Алябина, И.С. Урусевская и др. // *Федеральный атлас Природные ресурсы и экология России*. М. : НИА Природные ресурсы, 2002. С. 82–83.
19. Гуркова Е.А. Специфика внутренней структуры элементов кольцевой зональности почвенного покрова Центрально-Тувинской котловины // *Вестник Томского государственного университета*. 2009. № 321. С. 184–188.

20. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-е, 1975. 300 с.
21. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 477 с.
22. Курячев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255–261.
23. Андроханов В.А., Соколов Д.А. Фракционный состав окислительно-восстановительных систем почв отвалов каменноугольных разрезов // Почвоведение. 2012. № 4. С. 453–457.
24. Dai X.F., Jia X., Zhang W.P., Bai Y.Y., Zhang J.Y., Wang Y., Wang G.X. Plant height-crown radius and canopy coverage-density relationships determine above-ground biomass-density relationship in stressful environments // Biology Letters. 2009. № 5. P. 571–573.
25. Соколов Д.А., Андроханов В.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Лойко С.В. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири // Почвоведение. 2015. № 1. С. 106–117.
26. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М. : Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.
27. Кулижский С.П., Коронатова Н.Г., Артымук С.Ю., Соколов Д.А., Новокрещенных Т.А. Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифрактометрии при определении гранулометрического состава почв естественных и техногенных ландшафтов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 4. С. 21–31.
28. ГОСТ 17.4.4.01 – 1984 «Охрана природы. Почвы. Методы определения ёмкости катионного обмена».
29. Рагим-заде Ф.К. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их пригодности для восстановления почвенного покрова : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1977. 22 с.
30. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Госсен И.Н. Особенности формирования почв техногенных ландшафтов в различных природно-климатических зонах юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 364. С. 225–229.
31. Кусов А.В. Гранулометрическая диагностика внутрипочвенного выветривания обломочного материала в техногенных ландшафтах // Сибирский экологический журнал. 2007. № 5. С. 837–842.
32. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лойко С.В., Доможакова Е.А. Использование сканирующей электронной микроскопии для диагностики процессов почвообразования на поверхности отвалов каменноугольных разрезов Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 3. С. 36–52.
33. Травникова Л.С. Закономерности гумусоаккумуляции: новые данные и их интерпретация // Почвоведение. 2002. № 7. С. 832–843.
34. Рагим-заде Ф.К. Почвообразующие породы техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1992. 305 с.
35. Угольная база России. Том III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири (южная часть). М. : ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 с.
36. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). М. : ООО «Геоинформцентр», 2003. 604 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 22 июля 2015 г.

ESTIMATION OF LYTHOGENE POTENTIAL OF HUMUS ACCUMULATING IN SOILS OF COAL-MINE DUMPS OF SIBERIA

Tomsk State University Journal, 2015, 399, 247–253. DOI: 10.17223/15617793/399/40

Sokolov Denis A. Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: sokolovdenis@mail.ru

Merzlyakov Oleg E. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: molege@mail.ru

Domozhakova Evgenia A. Tuvan Institute for the Exploration of Natural Resources SB RAS (Kyzyl, Russian Federation). E-mail: sollygeohennet@mail.ru

Keywords: man-caused landscapes; soil-forming processes; soil organic matter; evolution of soils; embryozems.

This paper is devoted to the solution of a problem arising at estimating the ecologic condition of man-caused landscapes: determination of paedogene organic substance (humus) carbon content in soils enriched with coal partitions. Basing on a thesis that almost all paedogene organic substance in soils is connected with the mineral part, the authors offer an approach that allows determining the lythogene potential of humus accumulating as the maximum possible humus content. The goal of research is identify the zonal regularity of paedogene organic substance accumulating in soils of coal-mine dumps of Siberia by estimating lythogene potential of humus accumulating. Young soils of man-caused landscapes formed on the surface of coal-mine dumps and widely presented in different regions of the Siberian Federal District were the objects of research. Soils of autonomic positions of man-caused landscapes located in humid, sub-humid (mountain-taiga and forest-steppe zones of Kemerovo Oblast), semi-arid (steppe of Khakassia), arid and arid extra-continental (steppe of Tuva) climate were analyzed. The research shows that values of lythogene potential of humus accumulating in soils of coal-mine dumps of Siberia are proportional to the content of fine-dispersed fractions, and related to certain intervals for each soil type. An increase of value of the lythogene potential of humus accumulating is registered in the evolution line. Initial embryozems have minimum potential (from 0.6 to 2 %). Organic-accumulating and turf embryozems have the following values of potential: from 1.8 to 3.5 % and from 3.5 to 4.0 % respectively. Humus-accumulating embryozems are characterized by the maximum potential value of about 5.5 %. It is shown that best conditions for lythogene humus accumulating base formation are in regions with the aridity index of about 0 (sub-humid and semi-arid climate). Values of lythogene potential of humus-accumulating decrease when aridity or humidity increases. It is observed that lythogene potential of humus accumulating is determined by soil evolution stage and climate conditions. Humid regions are an exception, because the potential of all soil types stays at the level of initial embryozems. Thus, results of the research allow forecasting maximum values of humus content in soils under certain conditions. The use of such index as lythogene potential of humus accumulating creates new opportunities for research of ecologic conditions and resource potential of soils in man-caused landscapes.

REFERENCES

1. Schmidt, M.W.I. et al. (2001) Comparative analysis of black carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 15. pp. 163–167. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2000GB001284>
2. Rumpel, C. et al. (2003) Quantification of lignite- and vegetation-derived soil carbon using ¹⁴C activity measurements in a forested chronosequence. *Geoderma*. 112. pp. 155–166. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00302-6

3. Ussiri, D.A.N. & Lal, R. (2008) Method for determining coal carbon in the reclaimed minesoils contaminated with coal. *Soil Science Society of America Journal*. 72. pp. 231–237. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.09.015
4. Brodowski, S. et al. (2005) Morphological and chemical properties of black carbon in physical soil fractions as revealed by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Geoderma*. 128. pp. 116–129. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.12.019
5. Fatkulín, F.A. (1988) *Organicheskoe veshchestvo molodykh pochv tekhnogennykh ekosistem Kuzbassa* [The organic matter of soil of young man-made ecosystems of Kuzbass]. Abstract of Biology Cand. Diss. Novosibirsk.
6. Sokolov, D.A. (2009) *Okislitel'no-vosstanovitel'nye protsessy v pochvakh tekhnogennykh landshaftov* [The redox processes in soils of man-made landscapes]. Abstract of Biology Cand. Diss. Novosibirsk.
7. Semina, I.S. (2011) *Otsenka i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov dlya rekul'tivatsii pochv v gorno-taehznoy zone Kuzbassa* [Assessment and management of natural resources for the remediation of soils in mountain taiga zone of Kuzbass]. Abstract of Biology Cand. Diss. Novosibirsk.
8. Sokolov, D.A. (2012) Specificity of determination of paedogenic organic substances in soils of man-caused landscapes of Kuzbass. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2. pp. 17–25. (In Russian).
9. Morgenroth, G. et al. (2004) 14C measurement of soil in post-mining landscapes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 223 pp. 568–572. DOI: 10.1016/j.nimb.2004.04.105
10. Ussiri, D.A.N. & Lal, R. (2014) Methods for determination of coal carbon in reclaimed minesoils. *Geoderma*. 214 pp. 155–167. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.09.015
11. Kononova, M.M. (1963) *Organicheskoe veshchestvo pochvy* [Soil organic matter]. Moscow: USSR AS.
12. Lutzow, M. et al. (2008) Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 171. pp. 111–124. DOI: 10.1002/jpln.200700047
13. Artem'eva, Z.S. (2010) *Organicheskoe veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy* [The organic matter of soil and grading system]. Moscow: GEOS.
14. Kononova, M.M. (1932) OV potentsial kak metod kharakteristiki pochvennykh usloviy pri razlichnykh sposobakh orosheniya [The redox potential as a method of the characteristics of the soil conditions in the various methods of irrigation]. *Pochvovedenie*. 3. pp. 365–376.
15. Voronin, A.D. (1984) *Strukturno-funktsional'naya gidrofizika pochv* [Structural and functional hydrophysics of soil]. Moscow: Moscow State University.
16. Pereverzev, V.N. (2011) Agroekologicheskii potentsial okul'turnykh podzolistykh pochv kak osnova ustoychivogo zemledeliya na Severe [Agroecological potential of cultivated podzolic soils as the basis for sustainable agriculture in the North]. In: Aparin, B.F. (ed.) *Resursnyy potentsial pochv – osnova proizvod'svennoy i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii* [The resource potential of the soil as the basis of food and environmental safety of Russia]. St. Petersburg: Izd. Dom St. Petersburg State University.
17. Shoba, S.A. et al. (1999) [Soil-forming potential of natural factors]. *Genezis, geografiya i ekologiya pochv* [Genesis, geography and ecology of soils]. Proc. of the International Conference. Lvov. 16–18 September 1999. Lvov: Lvov State University. pp. 90–92. (In Russian).
18. Gerasimova, M.I. et al. (2002) Pochvoobrazuyushchiy potentsial klimata dlya protsessa gumusonakopleniya. Masshtab 1:35 000 000 [The soil-forming potential of climate for humus accumulation process]. In: NIA Prirodnye resursy. *Federal'nyy atlas Prirodnye resursy i ekologiya Rossii* [Federal atlas of Natural Resources and Ecology of Russia]. Moscow: NIA Prirodnye resursy.
19. Gurkova, E.A. (2009) Specificity of internal structure of ring zonality elements of soil cover in the Central-Tuva hollow. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. 321. pp. 184–188. (In Russian).
20. Trofimov, S.S. (1975) *Ekologiya pochv i pochvennye resursy Kemerovskoy oblasti* [Soil ecology and soil resources of Kemerovo Oblast]. Novosibirsk: Nauka.
21. Khmelev, V.A. & Tanasienko, A.A. (2013) *Pochvennye resursy Kemerovskoy oblasti i osnovy ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Soil resources of Kemerovo Oblast and the basis of their rational use]. Novosibirsk: SB RAS.
22. Kurachev, V.M. & Androkhonov, V.A. (2002) Classification of Soils of Technogenous Landscapes. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal – Contemporary Problems of Ecology*. 3. pp. 255–261. (In Russian).
23. Androkhonov, V.A. & Sokolov, D.A. (2012) Fraktsionnyy sostav okislitel'no-vosstanovitel'nykh sistem pochv otvalov kamennougol'nykh razrezov [Fractional composition of redox systems of soil dumps of coal mines]. *Pochvovedenie*. 4. pp. 453–457.
24. Dai, X.F. et al. (2009) Plant height-crown radius and canopy coverage-density relationships determine above-ground biomass-density relationship in stressful environments. *Biology Letters*. 5. pp. 571–573.
25. Sokolov, D.A. et al. (2015) Morfogeneticheskaya diagnostika protsessov pochvoobrazovaniya na otvalakh kamennougol'nykh razrezov Sibiri [Morphogenetic diagnosis of soil formation processes in the dumps of coal mines in Siberia]. *Pochvovedenie*. 1. pp. 106–117.
26. Kachinskiy, N.A. (1958) *Mekhanicheskii i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody ego izucheniya* [Mechanical and microaggregate soil composition, methods of its study]. Moscow: USSR AS.
27. Kulizhskiy, S.P. et al. (2010) Comparison of the sedimentation method and the laser-diffraction analysis during determination of soil texture of natural and technogenic landscapes. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 4. pp. 21–31. (In Russian).
28. State Standart. GOST 17.4.4.01 – 1984. *Okhrana prirody. Pochvy. Metody opredeleniya emkosti kationnogo obmena* [The Nature Conservation. Soils. Methods for determination of cation-exchange capacity].
29. Ragim-zade, F.K. (1977) *Tekhnogennyye elyuvii vskryshnykh porod ugol'nykh mestorozhdeniy Sibiri, otsenka ikh prigodnosti dlya vosstanovleniya pochvennogo pokrova* [Man-made eluvium of overburden of coal deposits in Siberia, assessment of their suitability for the restoration of soil]. Abstract of Biology Cand. Diss. Novosibirsk.
30. Sokolov, D.A. et al. (2012) Soil forming features under different environmental conditions in anthropogenic landscapes of south Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. 364. pp. 225–229. (In Russian).
31. Kusov, A.V. (2007) Granulometric Diagnostics of Intersoil Erosion of Detritus in Man-Caused Landscapes. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal – Contemporary Problems of Ecology*. 5. pp. 837–842. (In Russian).
32. Sokolov, D.A. et al. (2014) Using electronic scanning microscopy for diagnostics of soil-forming processes on the surface of coal-mine dumps in Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 3. pp. 36–52. (In Russian).
33. Travnikova, L.S. (2002) Zakonomernosti gumusonakopleniya: novye dannye i ikh interpretatsiya [Laws of humus accumulation, new data and their interpretation]. *Pochvovedenie*. 7. pp. 832–843.
34. Ragim-zade, F.K. (1992) Pochvoobrazuyushchie porody tekhnogennykh landshaftov [Soil-forming rocks of man-made landscapes]. In: Gadzhiev, I.M. et al. *Ekologiya i rekul'tivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Ecology and remediation of man-made landscapes]. Novosibirsk: Nauka.
35. Cherepovskiy, V.F. (ed.) (2002) *Ugol'naya baza Rossii* [Coal base of Russia]. V. III. *Ugol'nye basseyny i mestorozhdeniya Vostochnoy Sibiri (yuzhnaya chast')* [Coal basins and deposits in Eastern Siberia (south part)]. Moscow: Geoinformtsentr.
36. Cherepovskiy, V.F. (ed.) (2003) *Ugol'naya baza Rossii* [Coal base of Russia]. V. II. *Ugol'nye basseyny i mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri (Kuznetskiy, Gorlovskiy, Zapadno-Sibirskiy basseyny; mestorozhdeniya Altayskogo kraia i Respubliki Altay)* [Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorlovka, the West Siberian Basins, deposits of Altai Krai and the Altai Republic)]. Moscow: Geoinformtsentr.

Received: 22 July 2015