

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ЮГА СИБИРИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-04-90855-мол_рф_нр).

Рассмотрены особенности почв, формирующихся на отвалах каменноугольных разрезов в различных природно-климатических зонах Алтае-Саянской горной системы. Установлено, что процессы почвообразования в условиях горной тайги, лесостепи, степи и сухой степи идут разнонаправленно и имеют различную интенсивность.

Ключевые слова: техногенные ландшафты; восстановленные вещества; эволюция почв; инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые, гумусово-аккумулятивные эмбриоземы.

Введение

Проблема загрязнения окружающей среды в настоящее время является одной из самых острых. Особенно она актуальна для регионов юга Сибири, где сосредоточены крупные промышленные и ресурсные центры (Кемеровская область, Красноярский край, республики Хакасия и Тува). Основными источниками загрязнения в этих регионах выступают техногенные ландшафты, площадь которых составляет несколько сотен тысяч гектаров. Процесс формирования этих ландшафтов сопровождается извлечением и перегруппировкой ряда химических элементов и их соединений [1]. Породы, вынесенные из иной геохимической обстановки в результате горнодобывающей деятельности, неустойчивы в сложившейся, что влечет их неупорядоченную трансформацию [2, 3]. Это обуславливает ряд негативных экологических последствий, связанных с миграцией продуктов такого преобразования [4].

Минимизация этих последствий достигается либо посредством процессов самовосстановления, либо с помощью рекультивации. И в том и в другом случае на поверхности техногенных ландшафтов происходит формирование почвенного покрова. Преобразование исходных пород при почвообразовании протекает более упорядоченно и направлено на приближение химических (точнее, геохимических) и физических свойств субстратов к таковым в зональных почвах. Следовательно, отличительной особенностью процесса форми-

рования молодых почв техногенных ландшафтов является то, что главную роль среди факторов почвообразования играют геогенные (прежде всего свойства породы). В то время как в зональных почвах основные свойства определяются природно-климатическими условиями конкретной зоны [5].

В связи с этим целью нашего исследования явилось выявление специфики почвообразования в техногенных ландшафтах, расположенных в различных климатических зонах.

Объекты и методы исследований

В самом широком понимании объектами исследований выступили почвы, сформированные на поверхности техногенных ландшафтов, представленных отвалами каменноугольных разрезов. Они расположены в различных регионах Западно-Сибирского федерального округа. Были исследованы почвы автономных, автономных позиций ландшафтов горно-таежной и лесостепной зон Кемеровской области (Ольжерасский и Листвянский углеразрезы Кузбасса) и степных территорий Хакасии и Тувы, характеризующихся различной степенью выраженности ксероморфизма (Черногорский, Каа-Хемский и Чаданский углеразрезы). Таким образом, ряд исследуемых углеразрезков по степени увеличения аридности климата можно выстроить следующим образом: Ольжерасский – Листвянский – Черногорский – Чаданский – Каа-Хемский (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Климатические условия почвообразования исследуемых объектов

Геоморфологический район	Кузнецкий Алатау	Кузнецкая котловина	Минусинская котловина	Хемчикская котловина	Центрально-Тувинская котловина
Название углеразреза	Ольжерасский	Листвянский	Черногорский	Чаданский	Каа-Хемский
Сумма активных температур, °С	1500–1700	1700–1900	1900–2000	2100–2200	2100–2200
Осадки за год, мм	750–1400	400–500	250–300	220–270	170–250
ГТК по Селянинову	1,9	1,5	1,2	1	0,7
Коэффициент увлажнения по Иванову	2,2	1,3	0,7	0,6	0,39
Зональный тип почв	Дерново-глубоко-подзолистые	Черноземы выщелоченные	Черноземы южные	Темно-каштановые	Каштановые

Для всех этих территорий характерны техногенные ландшафты, сложенные хаотичной смесью вскрышных (лессовидные суглинки) и вмещающих пород (аргиллиты, алевролиты и песчаники). В состав субстрата отвалов также входит уголь, содержание которого может достигать 30% от массы мелкозема. Исследуемые отвалы подразделяются по возрасту на группы: молодые –

до 10 лет, средневозрастные – 10–20 лет и старые – более 20 лет.

Поскольку почвообразование как гипергенный процесс сопровождается глубокой и всесторонней трансформацией вещественного состава и свойств исходных пород, то для характеристики был выбран ряд критериев, позволяющих оценить процессы

преобразования, протекающие с различной скоростью.

К первой группе относятся морфологические критерии, которые благодаря набору легко диагностируемых признаков позволяют вне лабораторных условий как можно точнее оценить происходящие изменения. При почвообразовании в различных природно-климатических зонах морфологические особенности выражаются через формирование характерной для каждого почвенного типа системы генетических горизонтов [6]. В молодых почвах техногенных ландшафтов организация этой системы происходит через образование органогенных горизонтов (органогенно-аккумулятивных, дерновых, гумусово-аккумулятивных). Морфологическая диагностика исследуемых почв проводилась на основе классификации почв техногенных ландшафтов, разработанной И.М. Гаджиевым и В.М. Курчевым [7].

Во вторую группу критериев входят те признаки, которые позволяют охарактеризовать процесс формирования системы органических веществ. Однако в силу того что почвообразующий субстрат включает большое количество углистых частиц, в исследуемых образцах определение содержания гумуса традиционными методами не проводилось. В данном случае учитывались все процессы, затрагивающие преобразования восстановленных соединений углерода. Были применены методы, позволяющие разделить органическое вещество почв по степени его устойчивости к окислению [8]. Особое внимание при этом уделялось содержанию фракции трудноокисляемых соединений как индикатору содержания исходных литогенных веществ [9].

Третья группа критериев позволяет оценить степень преобразования минеральной части субстрата. Сюда можно отнести основные физические, физико-химические

и химические свойства почв. Важнейшим из этого ряда показателем для сравнительно молодых почв техногенных ландшафтов является механический (гранулометрический) состав, характеризующий степень дезагрегирования (деспергирования) исходного субстрата в результате почвообразования. Для определения этих показателей использовались общепринятые в почвоведении методы [10].

Результаты и обсуждение

Описания профилей почв, сформированных на отвалах каменноугольных разрезов и расположенных в различных климатических зонах, показали, что дифференциация молодых почв по морфологическим признакам происходит через образование системы специфических органогенных горизонтов.

При этом согласно классификации почв техногенных ландшафтов [11] каждый почвенный тип определяется по наличию соответствующего типодиагностического горизонта. Так, на исследуемых территориях были выделены инициальные, органогенно-аккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные эмбриоземы.

Инициальные эмбриоземы, не имеющие каких-либо морфологически выраженных генетических горизонтов, характеризуют первые стадии преобразования почвообразующего субстрата. Дифференциация профиля данного типа почв, как правило, не происходит по причине сравнительно небольшого возраста, что обуславливает их широкое распространение на молодых и средневозрастных отвалах (табл. 2). Также инициальные эмбриоземы сохраняются и на старых отвалах, где они присущи местообитаниям с экстремальными эдафическими условиями.

Таблица 2

Дифференциация эмбриоземов по техногенным ландшафтам юга Западной Сибири

Эмбриоземы	Инициальные	Органогенно-аккумулятивные	Дерновые	Гумусово-аккумулятивные
Углеразрез				
Молодые (менее 10 лет) отвалы				
Ольжерасский	+	+	–	–
Листвянский	+	+	+	–
Черногорский	+	+	–	–
Чаданский	+	–	–	–
Каа-Хемский	+	–	–	–
Средневозрастные (10–20 лет) отвалы				
Ольжерасский	+	+	+	–
Листвянский	+	+	+	–
Черногорский	+	+	–	–
Чаданский	+	+	–	–
Каа-Хемский	+	–	–	–
Старые (более 20 лет) отвалы				
Ольжерасский	+	+	–	–
Листвянский	+	+	+	+
Черногорский	+	+	+	–
Чаданский	+	+	–	–
Каа-Хемский	+	+	–	–

Следующая стадия эволюции почв техногенных ландшафтов – органогенно-аккумулятивные эмбриоземы – имеет ярко выраженный генетический горизонт биогенной аккумуляции. Это выражается в накоплении органических остатков на поверхности почвы (подстилки). В почвах, сформированных на молодых и средневозрастных

отвалах, этот горизонт представлен неразложившимися и слабо разложившимися остатками травянистой растительности. Тем же материалом сложен этот горизонт у органогенно-аккумулятивных эмбриоземов и на старых отвалах, за исключением тех, которые расположены в горно-таежной климатической зоне. Здесь в условиях ярко выраженного

гумидного климата в составе растительной группировки на старых отвалах начинают доминировать древесные растения. Поэтому горизонт подстилки в органо-аккумулятивных эмбриоземах представлен преимущественно неразложившимися листьями деревьев. Еще одной важной особенностью распространения этих почв по техногенным ландшафтам юга Сибири является то, что данный тип почв не формируется на молодых отвалах двух наиболее аридных участков исследований – Чаданского и Каа-Хемского углеразрезов. Так, на участке Каа-Хемского углеразреза (Центральная Тува) формирование органо-аккумулятивного эмбриозема не происходит и на средневозрастных отвалах.

Дерновый эмбриозем, в отличие от двух предыдущих типов почв, не так широко распространен. Формирование его происходит только на отвалах, расположенных в условиях с менее выраженной аридностью климата. При этом в гумидной горно-таежной зоне, в которой находится Ольжерасский углеразрез, дерновый эмбриозем был отмечен только на средневозрастных отвалах. Это объясняется тем, что по мере развития здесь древесной растительности дерновый процесс уступает процессу подстилконакопления. Подобное явление отмечалось также и другими исследователями. Характеризуя молодые почвы песчаных карьеров северо-запада Русской равнины, Е.В. Абакумов и И.И. Гагарина противопоставляют эти два процесса, называя их конкурентами [12]. Поэтому на старых отвалах на смену дерновым эмбриоземам вновь приходят органо-аккумулятивные. Дерновые эмбриоземы сохраняются только на тех участках, где по различным причинам затруднено развитие древесной растительности (участки бывших дорог, технологических площадок и т.п.).

Наибольшее распространение данный тип почв имеет на отвалах, расположенных в лесостепной зоне. Так, на территории Листвянского углеразреза дерновые эмбриоземы присутствуют как на средневозрастных, так и на старых отвалах. На Черногорском разрезе, следующем в ряду нарастания аридности, дерновые эмбриоземы были отмечены только на старых отвалах.

Гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, помимо описанных выше горизонтов подстилки и дернины,

имеют горизонт аккумуляции гумуса. Они весьма редко распространены на отвалах каменноугольных углеразрезов. Формирование их происходит только в лесостепной зоне на старых отвалах. Это обусловлено прежде всего лимитирующим влиянием геогенного фактора на образование горизонта аккумуляции гумуса. В первую очередь это связано с тем, что изначально почвообразующие субстраты в техногенных ландшафтах отличаются низким содержанием физической глины (не более 15%), необходимой для связывания образующихся гумусовых веществ с минеральной частью почвы. Развитие гумусонакопления становится возможным только на старых отвалах и в том случае, если процессы выветривания обеспечивают накопление достаточного количества тонкодисперсных фракций.

Таким образом, обобщая вышеописанные морфологические особенности почв исследуемых объектов, можно сказать о том, что в ряду нарастания аридности происходит замедление развития почвообразовательных процессов.

Оценивая специфику формирования систем органических веществ в почвах отвалов угольных разрезов, важно отметить, что изначально все почвообразующие субстраты представлены смесью пород с различным содержанием восстановленных веществ. Поэтому соотношение между фракциями этих веществ (табл. 3) может резко меняться как в различных типах эмбриоземов, так и на различных глубинах. Для характеристики были выбраны почвы, сформированные на старых отвалах исследуемых углеразрезв. Кроме того, были отобраны образцы свежотсыпаемых пород и каменный уголь. Исследования показали, что самым высоким содержанием восстановленных веществ характеризуется образец угля. Во фракционном составе преобладает фракция трудноокисляемых соединений. В отсыпаемых породах содержание восстановленных веществ колеблется от нескольких сотен до нескольких тысяч миллиграмм-эквивалентов на 100 г мелкозема. Высокое содержание в этих образцах трудноокисляемых веществ свидетельствует о том, что восстановленные вещества этих субстратов представлены преимущественно углем.

Т а б л и ц а 3

Содержание и распределение фракций восстановленных веществ

Углеразрез	Объект исследований	Горизонт	Содержание фракций восстановленных веществ, мг-экв на 100 г мелкозема				Доля фракций, % от валового количества		
			Валовое кол-во	Трудно-окисл.	Средне-окисл.	Легко-окисл.	Трудно-окисл.	Средне-окисл.	Легко-окисл.
Ольжерасский	Почвообразующие породы		416	184	201	30	44,3	48,4	7,3
	Инициальный	C ₁ (0-6)	2 526	250	1 763	513	9,9	69,8	20,3
		C ₂ (6-29)	2 557	527	1 367	663	20,6	53,5	25,9
	Органо-аккумулятивный	C ₁ (1-8)	1 462	238	886	338	16,3	60,6	23,1
		C ₂ (8-50)	1 112	133	729	251	11,9	65,5	22,5
	Дерновый	C ₁ (3-12)	1 108	113	739	256	10,2	66,7	23,1
C ₂ (12-50)		1 117	68	768	280	6,1	68,8	25,1	
Черногорский	Почвообразующие породы		7 019	2 587	4 052	379	36,6	57,9	5,4
	Инициальный	C ₁ (0-12)	2 183	105	1 737	341	4,8	79,6	15,6
		C ₂ (12-34)	2 428	266	1 522	640	10,9	62,7	26,4
	Органо-аккумулятивный	C ₁ (1-10)	2 255	247	1 244	764	11,0	55,2	33,9
		C ₂ (10-40)	2 214	432	1 356	427	19,5	61,3	19,3
Каа-Хемский	Почвообразующие породы		3 320	828	2 151	341	24,9	64,9	10,3
	Инициальный	C ₁ (3-13)	3 525	272	2 093	1 160	7,3	59,7	33,1
		C ₂ (15-23)	2 097	252	1 380	465	12,0	65,8	22,2
	Органо-аккумулятивный	C ₁ (0-11)	456	143	118	195	31,3	26,0	42,7
		C ₂ (11-21)	289	103	24	162	36,2	7,6	56,2
Каменный уголь			36 820	21 867	13 146	1 807	59,4	35,7	4,9

В исследуемых почвах доля трудноокисляемых веществ значительно уступает другим фракциям. При этом наименьшее их содержание отмечается в горизонтах C_1 инициальных эмбриоземов. Ниже в горизонтах C_2 содержание этих веществ увеличивается, что свидетельствует о менее активном преобразовании систем органических веществ в данных горизонтах. Повышение содержания трудноокисляемых веществ в верхних горизонтах наблюдается и при переходе от инициальных к орго-аккумулятивным эмбриоземам.

Из табл. 3 видно, что отмечаемая направленность в исследуемых почвах нарастает с усилением аридизации климата. Несмотря на то что процессы преобразования органических веществ наиболее активны при наличии высокого содержания влаги, необходимой для протекания реакций, на фоне ярко выраженного ксероморфизма исследуемых участков интенсивнее преобразование идет там, где имеет место больший приход тепла. По нашему мнению, такая тенденция обусловлена тем, что исходное органическое вещество в исследуемых почвах представлено углистыми частицами. Уголь, как известно, по сравнению с другими породами более гидрофилен [3]. Таким образом, содержание гигроскопической влаги, получаемой углем во влажные периоды, является достаточным для протекания процессов хемогенного окисления восстановленных веществ в эмбриоземах. По мере того как на стадии орго-

аккумулятивных эмбриоземов формируется горизонт подстилки, поступление влаги в субстрат уменьшается, хемогенные процессы ослабевают, что способствует сохранению трудноокисляемых веществ.

Прежде чем оценивать дифференциацию механических фракций в исследуемых почвах, напомним, что исходно почвообразующие породы представляют собой хаотичную смесь различных по размеру обломков вскрышных и вмещающих пород. Кроме того, эти породы отличаются также и по устойчивости к выветриванию. Наиболее долго разрушаются песчаники, быстрее – алевриты и аргиллиты на углестом цементе [13]. Обусловленная этими причинами неоднородность в механическом составе сохраняется в последующем и в почвах. Особенно наглядно это проявляется в распределении фракции более 3 мм на глубинах 10–20 см (рис. 1). В слое 0–10 см содержание каменистых фракций уменьшается во всех исследуемых эмбриоземах. Это обусловлено развитием процессов выветривания в верхней части профиля почв. При этом более ярко выражены эти процессы в дерновых эмбриоземах, что вызвано наложением биохимического и биофизического типов выветривания на физическое [14]. Уменьшение площади областей диаграммы на глубинах 0–10 см свидетельствует о том, что процессы выветривания исходного субстрата усиливаются по мере нарастания аридности территории.



Рис. 1. Дифференциация фракции > 3 мм в исследуемых почвах

Еще одной важной особенностью дифференциации фракций восстановленных веществ в исследуемых почвах является то, что при переходе от гумидного к аридному климату увеличивается содержание способных к миграции легкоокисляемых веществ. Учитывая то, что более 70% площади техногенных ландшафтов представляют собой склоновые поверхности, это может негативно сказаться на состоянии прилегающих к ним территорий.

По тем же причинам, но в обратном порядке распределяются фракции менее 1 и менее 0,01 мм. Причем разница между содержанием этих фракций на различных глубинах возрастает при переходе от инициального к орго-аккумулятивному и далее к дерновому эмбриозему (рис. 2–3).

Следует отметить, что эта тенденция нарастает по мере уменьшения гумидности исследуемых территорий. Так, в профилях эмбриоземов, сформированных на отвалах в горно-таежной зоне (Ольжерасский углеразрез), содержание мелкозема и физической глины вниз по профилю практически не изменяется. Это

обусловлено проявлением зональной специфики почвообразования, для которой свойственно интенсивное развитие элювиально-иллювиальных процессов. Учитывая то, что зональными для данной территории являются дерново-глубокоподзолистые почвы, можно сделать вывод: вся исследуемая толща 0–20 см функционирует как элювиальный горизонт. В условиях лесостепи (Литвянский углеразрез) и тем более степи (Черногорский углеразрез) процессы текстурной дифференциации профиля значительно ослабевают. Наиболее ярко эта тенденция выражена в прошедшем наибольшее количество стадий эволюции дерновом эмбриоземе (рис. 3).

Таким образом, обобщая все вышесказанное, отметим, что формирование почв на отвалах каменноугольных разрезов в различных природно-климатических зонах происходит не одинаково. При этом дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты наиболее выражена в техногенных ландшафтах, расположенных в лесостепной зоне. Здесь эволюция почв проходит инициальную, орго-аккумулятивную,

дерновую стадии и достигает гумусово-аккумулятивной, отражающей зональную специфику почвообразования. По мере усиления аридности территорий эволюция почв замедляется и доходит до дерновой стадии в условиях степи и органо-аккумулятивной в условиях сухой степи. В гумидном климате горно-таежной зоны

Кузнецкого Алатау могут формироваться дерновые и даже иногда гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, которые со временем все же уступают место органо-аккумулятивным. Зональная специфика почвообразования в этих условиях заключается в формировании почв с мощным элювиальным горизонтом.



Рис. 2. Дифференциация фракции < 1 мм в исследуемых почвах



Рис. 3. Дифференциация фракции < 0,01 мм в исследуемых почвах

Оценивая специфику трансформации систем органических веществ в этих почвах, следует отметить, что интенсивность преобразования исходных литогенных компонентов возрастает в ряду усиления аридности климата. Наряду с этим в профиле почв увеличивается содержание легкоподвижных органических соединений.

Процессы дезинтеграции обломков исходных пород и, как следствие, образование мелкозема и тонкодисперсных фракций наиболее существенны там, где эволюция почв достигает стадии дернового эмбриозема. Вместе с тем интенсивность перераспределения по профилю образовавшихся частиц снижается по мере уменьшения количества атмосферных осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 275 с.
2. Андроханов В.А., Кулятина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
3. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
4. Соколов Д.А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 18 с.
5. Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 288 с.
6. Розанов Б.Г. Генетическая морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. 292 с.
7. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1992. 305 с.
8. Соколов Д.А. Специфика накопления и распределения фракций восстановленных продуктов в эмбриоземах Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 315. С. 214–218.
9. Андроханов В.А., Соколов Д.А. Фракционный состав окислительно-восстановительных систем почв отвалов каменноугольных разрезов // Почвоведение. 2012. № 4. С. 453–457.
10. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.
11. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 255–261.
12. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2006. 208 с.
13. 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.
14. Кусов А.В. Гранулометрическая диагностика внутрипочвенного выветривания обломочного материала в техногенных ландшафтах // Сибирский экологический журнал. 2007. № 5. С. 837–842.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 24 сентября 2012 г.