

## Специфика распределения фракций окисленных веществ в почвах техногенных ландшафтов

Д. А. СОКОЛОВ

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18  
E-mail: sokolovdenis@mail.ru*

### АННОТАЦИЯ

Впервые исследованы особенности накопления и распределения фракций окисленных веществ в почвах техногенных ландшафтов, сформированных на отвалах каменноугольных разрезов.

**Ключевые слова:** техногенные ландшафты, окислительно-восстановительные процессы, восстанавливаемые вещества, инициальные, органоаккумулятивные, дерновые, гумусово-аккумулятивные эмбриоземы.

Известно, что процесс почвообразования представляет собой способ преобразования исходного субстрата [1]. Этот процесс протекает в определенных условиях, называемых факторами почвообразования, и характеризуется глубокой и всесторонней трансформацией состава и свойств почвообразующих пород. Происходящие изменения отражаются не только на свойствах компонентов почв, но и на интенсивности и направленности почвенных процессов. Среди таких процессов выделяются окислительно-восстановительные, как наиболее ярко характеризующие особенности преобразования исходного субстрата.

Принимая во внимание то, что развитие окислительно-восстановительных процессов в почвах происходит при восстановлении или окислении каких-либо веществ, следует помнить, что превращение одних сопровождается изменением других. Причем эти превращения по своей направленности противоположны. Другими словами, если какое-либо соединение в окислительно-восстановительной системе окисляется, то в этой системе

обязательно присутствует вещество, которое будет восстанавливаться, и наоборот. Поэтому все компоненты окислительно-восстановительных систем делят на две группы: восстановленные, или окисляемые, и окисленные, или восстанавливаемые [2]. В почвах как сложных окислительно-восстановительных системах процессы окисления, как правило, сопровождаются восстановлением атомов кислорода ( $O^0 + 2e = O^{2-}$ ), входящих в состав молекул углекислого газа и воды. Однако при почвообразовании на субстратах с повышенным содержанием восстановленных веществ, которыми являются почвы техногенных ландшафтов, процессы окисления сопровождаются восстановлением и других окисленных соединений, закисные формы которых часто являются более активными, чем окисные [3], что обуславливает их большую способность к миграции и тем самым приводит к осложнению экологической обстановки региона. Поэтому необходимо уметь определять содержание, состав и свойства окисленных веществ.

Окисленными соединениями в широком понимании считают все вещества в почве, некогда подвергшиеся процессу окисления.

---

Соколов Денис Александрович

Этими веществами могут быть как органические вещества, частично окисленные, так и простые соединения, такие как вода, углекислый газ, оксид кремния и др. Однако далеко не все окисленные соединения входят в состав окислительно-восстановительных систем. Большинство из них после окисления выпадают из этих систем и в дальнейшем в окислительно-восстановительных процессах не участвуют. Но есть и такие вещества, которые после окисления способны вновь восстанавливаться; их называют восстанавливаемыми [4]. Способность этих веществ восстанавливаться может быть обусловлена структурой составляющих их молекул или свойствами входящих в эти молекулы элементов. По природе они могут быть как минеральными (например, вещества, в которых восстанавливаются атомы элементов с переменными валентностями (железо, марганец)), так и органическими, где восстанавливаются молекулы в целом (гумусовые вещества).

Дифференциация таких веществ в профилях почв является результатом действия различных окислительно-восстановительных процессов. Поэтому предполагается, что накопление и распределение восстанавливаемых веществ различной природы в исследуемых нами почвах будет отражать преобладание того или иного типа окислительно-восстановительных процессов.

#### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Для того чтобы охарактеризовать накопление и распределение фракций окисленных (восстанавливаемых) соединений, в лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН разработан способ определения фракционного состава окисленных веществ. Этот метод позволяет по способности к восстановлению выделить фракции трудно-, средне- и легковосстанавливаемых веществ. Сумма этих фракций определяется как валовое содержание окисленных веществ.

Объектами исследований выбраны почвы техногенных ландшафтов, сформированные на отвалах Ольжерасского каменноугольного разреза Кузбасса. В настоящее время на поверхности 40-летнего отвала сформированы эмбриоземы, относящиеся по классификации почв техногенных ландшафтов [5] к инициа-

льным, органоаккумулятивным, дерновым и гумусово-аккумулятивным. В профиле каждого типа эмбриозема по глубинам 0–10, 20–30 и 40–50 см отбирали образцы почвы, из которой впоследствии удаляли растительные остатки. Для сравнения отобраны и проанализированы образцы зональных дерново-глубокоподзолистых почв, а также образцы углистых частиц и свежееотсыпанной вскрышной породы.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Полученные в ходе анализов данные позволяют отметить несколько особенностей распределения валового количества восстанавливаемых веществ в профилях различных типов эмбриоземов. Так, оказалось, что на глубине 0–10 см содержание восстанавливаемых веществ увеличивается при переходе от инициального к органоаккумулятивному эмбриозему и несколько уменьшается в дерновом до значений, отмечаемых в инициальном эмбриоземе (см. таблицу). В гумусово-аккумулятивном эмбриоземе снова наблюдается повышение содержания восстанавливаемых веществ до количества, превышающего таковые в других типах эмбриоземов. Подобная, но более контрастная тенденция отмечается также в профилях эмбриоземов на глубинах 20–30 и 40–50 см.

Учитывая это, а также то, что первоначально почвообразующий субстрат представляет собой хаотическую смесь пород, мы предполагаем, что трансформация окисленных компонентов окислительно-восстановительных систем осуществляется медленно.

Анализ профильного распределения восстанавливаемых веществ показывает, что во всех типах эмбриоземов, за исключением гумусово-аккумулятивного, с глубиной наблюдается увеличение их содержания. Часто содержание восстанавливаемых веществ в нижней части профиля вдвое превышает их содержание в верхнем слое. Подобная картина отмечается и в зональных почвах (см. таблицу).

Таким образом, несмотря на то, что в эволюционном ряду эмбриоземов не наблюдается четко выраженной тенденции в распределении валового количества восстанавливаемых веществ, можно отметить, что блок окисленных веществ в окислительно-восстановительных системах функционирует так же, как и в системах естественных почв.

**Содержание и распределение фракций окисленных (восстанавливаемых) веществ**

Объект исследований	Глубина, см	Содержание фракций окисленных продуктов, мг-экв/100 г Доля фракций, % от валового количества субстрата						
		валовое количество	трудно-	средне-	легко-	трудно-	легко-	
Вскрышная порода	-	1,50	0,10	1,08	0,32	6,7	72,0	21,3
Уголь (каменистых фракций):	-	1,88	0,88	0,55	0,45	46,8	29,3	23,9
из почвенного разреза свежедобытый	-	0,50	0,02	0,38	0,10	4,0	76,0	20,0
Дерново-глубоко-подзолистая почва	0-3 (А <sub>д</sub> )	11,48	3,43	3,15	4,90	29,9	27,4	42,7
	3-15 (А <sub>1</sub> ,А <sub>2</sub> )	13,12	4,28	2,95	5,89	32,6	22,5	44,9
	15-57 (А <sub>2</sub> )	20,36	8,21	5,84	6,31	40,3	28,7	31,0
	57-118 (В <sub>1</sub> )	27,67	12,03	7,82	7,82	43,5	28,3	28,3
Инициальный эмбриозем	0-10	1,86	0,86	0,72	0,28	46,4	38,5	15,0
	20-30	1,74	0,74	0,59	0,42	42,1	34,0	23,8
	40-50	2,83	0,96	1,34	0,53	33,9	47,4	18,8
Органоаккумулятивный эмбриозем	0-10	2,14	1,03	0,65	0,47	48,0	30,2	21,8
	20-30	3,45	1,64	1,33	0,48	47,5	38,6	14,0
	40-50	4,56	2,31	1,39	0,87	50,6	30,4	19,0
Дерновый эмбриозем	0-10	1,81	0,69	0,68	0,44	38,1	37,7	24,1
	20-30	1,87	1,09	0,59	0,19	58,1	31,7	10,2
	40-50	3,28	2,09	0,75	0,44	63,6	22,9	13,5
Гумусово-аккумулятивный эмбриозем	0-10	2,77	1,28	0,89	0,61	46,1	32,1	21,8
	20-30	2,13	1,03	0,59	0,50	48,6	27,9	23,5
	40-50	2,10	0,86	0,63	0,61	41,0	30,0	29,0

Содержание трудновосстанавливаемых веществ, как и валового количества окисленных соединений, в эмбриоземах и зональных почвах увеличивается вниз по профилю. Подобная тенденция является свидетельством того, что условия образования восстанавливаемых веществ в нижней части почвенных профилей наиболее благоприятны.

Оценка долевого содержания в окислительной системе трудновосстанавливаемых веществ показывает, что в образцах эмбриоземов, почвенного угля и нижней части профиля зональных почв эта фракция преобладает (рис. 1–3). Это говорит о том, что в исследуемых окислительно-восстановительных системах фракция имеет преимущественно хемогенное происхождение. В частности, в дерново-глубокоподзолистых почвах наибольшее содержание трудновосстанавливаемых веществ отмечается именно в том горизонте (см. рис. 2), где идут хемогенные процессы, приводящие к формированию железисто-марганцевых новообразований [6].

Фракция трудновосстанавливаемых веществ преобладает и в образцах взятого из почвенного разреза и измельченного угля, т. е. там, где возможно протекание только хемогенных окислительно-восстановительных процессов (см. рис. 1).

Долевое распределение фракции трудновосстанавливаемых окисленных соединений в профилях эмбриоземов не имеет выраженной тенденции (см. таблицу). Однако, если рассчитать средние значения по глубинам, можно увидеть хорошо выраженную тенден-

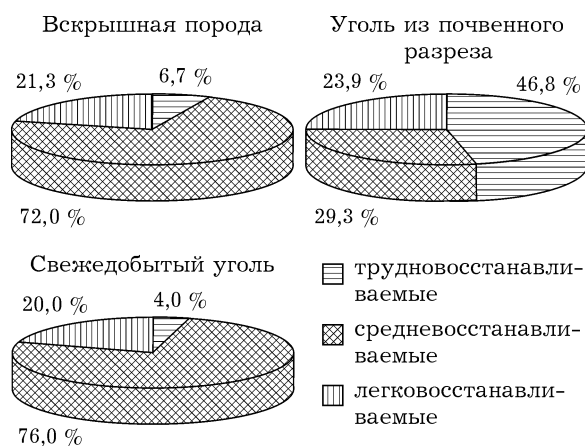


Рис. 1. Соотношение фракций окисленных (восстанавливаемых) веществ в исследуемых образцах

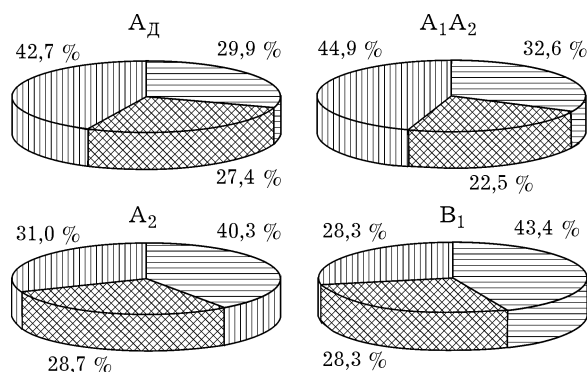


Рис. 2. Соотношение фракций окисленных (восстанавливаемых) веществ в дерново-глубокоподзолистых почвах.

Усл. обозн. см. на рис. 1

цию накопления этих веществ, сингенетичную стадиям почвообразования. Так, в инициальном эмбриоземе содержание этой фракции в окислительно-восстановительной системе составляет 40,8 % (см. рис. 3).

В органоаккумулятивном эмбриоземе количество этой фракции увеличивается до 48,7 %, в дерновом – до 53,3 %. В гумусово-аккумулятивном эмбриоземе содержание трудновосстанавливаемых веществ в окислительно-восстановительной системе уменьшается до 45,2 %, что объясняется снижением в этом эмбриоземе интенсивности хемогенных процессов в результате замены их педогенными.

Проведенные исследования по определению содержания средневосстанавливаемых веществ позволяют судить о том, что эта фракция в исследуемых почвах техногенных

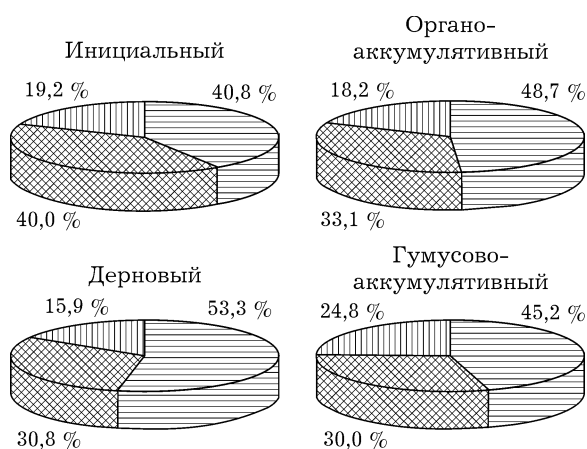


Рис. 3. Соотношение фракций окисленных (восстанавливаемых) веществ в профилях эмбриоземов.

Усл. обозн. см. на рис. 1

ландшафтов имеет преимущественно литогенную природу. Это подтверждается тем, что в окислительно-восстановительных системах вскрышной породы и свежедобытого угля содержание этой фракции составляет 72 и 76 % соответственно (см. рис. 1). Предположение о литогенном происхождении средневосстанавливаемых веществ подтверждается и тем, что в окислительно-восстановительных системах естественных почв (см. рис. 2) их содержание оказывается минимальным по сравнению с другими фракциями.

При рассмотрении долевого содержания этой фракции в окислительных системах эволюционного ряда эмбриоземов, как и при анализе трудновосстанавливаемых веществ, сложно выделить какие-то определенные тенденции. Но, рассчитав средние значения по профилю, можно отметить, что при переходе от инициального к органоаккумулятивному, а далее – к дерновому и гумусово-аккумулятивному эмбриоземам наблюдается снижение содержания средневосстанавливаемых соединений от 40 до 33,1 и далее до 30,8 и 30,0 % соответственно (см. рис. 3). Убыль средневосстанавливаемых окисленных соединений сингенетична стадиям почвообразования. Это также подтверждает предположение о литогенном происхождении этой фракции.

Сравнивая количественное распределение средневосстанавливаемых веществ в исследуемых почвах, можно отметить, что дифференциация их содержания вниз по профилю сходна с таковой в зональных почвах (см. таблицу). Наибольшее содержание средневосстанавливаемых веществ в профилях эмбриоземов, за исключением гумусово-аккумулятивного, наблюдается в нижних слоях исследуемых почв, что также является подтверждением их литогенного происхождения.

К фракции легковосстанавливаемых веществ, как правило, относят ту часть окисленных соединений, которая является наиболее податливой к восстановлению [7]. Природа этих веществ в эмбриоземах наиболее сложная по сравнению с другими фракциями восстанавливаемых соединений.

Поэтому, в отличие от трудно- и средневосстанавливаемых веществ, их нельзя характеризовать каким-то определенным типом происхождения.

В рассматриваемых нами образцах угля и вскрышной породы ее содержание в окислительно-восстановительной системе составляет 20–24 %. При этом наибольшее количество фракции легковосстанавливаемых соединений отмечается в образце почвенного угля, наименьшее – в образце свежедобытого угля (см. рис. 1).

В дерново-глубокоподзолистой почве содержание этой фракции увеличивается при переходе от горизонта  $A_d$  к горизонту  $A_1A_2$  и понижается ниже по профилю. Подобным характером дифференциации по профилю почвы распределение легковосстанавливаемых соединений напоминает распределение гумусовых веществ (см. рис. 2). Ясно при этом, что фракция легковосстанавливаемых веществ в естественных почвах имеет педогенное происхождение, т. е. представлена в основном гумусовыми соединениями. Однако это не объясняет относительно высокого содержания этой фракции в образцах угля, вскрышной породы и в исследуемых типах эмбриоземов (см. рис. 1, 3). Кроме того, известно, что восстановление органических веществ, в том числе и гумуса, возможно только при участии биогенных процессов. К сожалению, используемый нами метод определения восстанавливаемых веществ не предполагает выделения компонентов только биогенного происхождения. Поэтому, учитывая значительное содержание легковосстанавливаемых веществ в образцах угля, вскрышной породы и в дерново-глубокоподзолистой почве, мы принимаем, что эта фракция имеет двойную, т. е. педолитогенную, природу. Из этого следует, что восстановление литогенной составляющей этой фракции осуществляется при помощи органических веществ педогенного происхождения, чем и обуславливается наибольшая способность этой фракции к восстановлению. При этом, если в образцах естественных почв восстановление веществ осуществляется при помощи гумусовых соединений, то в образцах угля оно происходит при помощи хемогенных веществ, схожих по своим функциям с педогенными. Малое содержание легковосстанавливаемых веществ во вскрышной породе (см. таблицу) свидетельствует о том, что в них восстановление происходит также при помощи гумусовых веществ литогенного происхождения.

Анализируя дифференциацию легковосстанавливаемой фракции в окислительно-восстановительных системах эмбриоземов, можно заметить, что среднее содержание уменьшается от инициального до дернового, т. е. повторяет распределение средневосстанавливаемых веществ. В гумусово-аккумулятивном эмбриоземе, выделяющемся аккумуляцией педогенных веществ, содержание легковосстанавливаемых продуктов резко увеличивается. Это еще раз подтверждает предположение о педолитогенном их происхождении.

При анализе закономерностей количественного распределения веществ этой фракции можно отметить, что в верхнем 10-сантиметровом слое наблюдается тенденция накопления легковосстанавливаемых веществ от инициального, через органоаккумулятивный и дерновый, до гумусово-аккумулятивного эмбриозема (см. таблицу). На этом основании можно сделать вывод, что распределение фракции легковосстанавливаемых веществ между типами эмбриоземов отражает трансформацию компонентов литогенных окислительно-восстановительных систем в педогенные.

Таким образом, оценивая всю специфику распределения окисленных (восстанавливаемых) веществ в профиле эмбриоземов, выделим наиболее важное:

1. Формирование эмбриоземов в техногенных ландшафтах Кузбасса сопровождается накоплением в профилях почв одних восстанавливаемых веществ и убылью других. Темпы и характер этих процессов сингенетичны стадиям почвообразования.

2. Процесс формирования в эмбриоземах окислительно-восстановительных систем ха-

рактеризуется убылью литогенных и накоплением хемо- и педолитогенных восстанавливаемых веществ. При этом фракция трудновосстанавливаемых веществ имеет преимущественно хемогенную природу. Фракция средневосстанавливаемых соединений в основном представлена литогенными веществами. Фракция легковосстанавливаемых веществ представлена педолитогенными соединениями.

3. В исследуемых типах почв соединениями, наиболее склонными к восстановлению, являются вещества, связанные с гумусом. Менее склонным к восстановлению соответствуют литогенные недовосстановленные вещества. Наиболее тяжеловосстанавливаемыми соединениями являются химически окисленные или хемогенные вещества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курачев В. М., Кандрашин Е. Р., Рагим-заде Ф. К. Сингенетичность растительности и почв техногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация // Сиб. экол. журн. 1994. № 3. С. 208–213.
2. Кауричев И. С., Орлов Д. С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М., 1982.
3. Гантимуров И. И. Исследования по вопросам общего и прикладного почвоведения. Новосибирск, 1969.
4. Костенков Н. М. Окислительно-восстановительные режимы в почвах периодического переувлажнения. М., 1987.
5. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск, 1992.
6. Шоба В. Н. Миграция и аккумуляция продуктов почвообразования в дерново-глубокоподзолистых поверхностно-оглеенных почвах Салаира. Новосибирск, 1978.
7. Савич В. И., Сидоренко О. Д., Трубицина Е. В., Улько Н. Г. Оценка окислительно-восстановительного состояния в системе почва – растение, М., 1984.

## Specificity of the Distribution of Oxidized Substance Fractions in the Soils of Technogenic Landscapes

D. A. SOKOLOV

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18  
E-mail: sokolovdenis@mail.ru*

For the first time, the features of accumulation and distribution of the fractions of oxidized substances in the soils of technogenic landscapes formed on the piles of coal mines are investigated.

**Keywords:** technogenic landscapes, oxidation-reduction processes, restorable substances, initials, organic-accumulative, turfen, humic-accumulative embryozems.