

УДК 631.618

doi: 10.17223/19988591/21/2

Д.А. Соколов<sup>1</sup>, С.П. Кулижский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск)

<sup>2</sup> Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)

## СИНГЕНЕТИЧНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПОЧВАХ ОТВАЛОВ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (соглашение № 14.В37.21.0184).

*Рассмотрены особенности функционирования окислительно-восстановительных систем в почвах отвалов каменноугольных разрезов. Выявлено, что трансформация исходных литогенных окислительно-восстановительных систем в педогенные находится в зависимости от состава растительной группировки. При этом формирование педогенных окислительно-восстановительных систем протекает поэтапно, сингенетично стадиям сукцессии фитоценозов. Установлено, что определенному типу растительной группировки свойствен соответствующий характер преобразования исходных окислительно-восстановительных систем. Пионерная растительная группировка, характерная для инициальных эмбриоземов, не обеспечивает поступления достаточного количества биогенных веществ. Преобладающими процессами трансформации окислительно-восстановительных систем в этих эмбриоземах являются хемогенные. Простая растительная группировка, свойственная органо-аккумулятивным эмбриоземам, способствует протеканию активных биологических процессов. Это выражается в почвенном накоплении восстановленных веществ биогенной природы, формирующих горизонт травянистой подстилки. Органо-аккумулятивным эмбриоземам свойственно преобладание биогенных окислительно-восстановительных процессов. Формирование сложной растительной группировки на дерновых эмбриоземах обеспечивает развитие педогенных окислительно-восстановительных процессов. Это происходит при внутрпочвенном воздействии на субстрат живых организмов, а также продуктов их жизнедеятельности. Замкнутый фитоценоз, характерный для гумусово-аккумулятивных эмбриоземов, способствует протеканию педогенно-аккумулятивных окислительно-восстановительных процессов. Развитие этих процессов сопровождается образованием горизонта аккумуляции восстановленных веществ педогенной природы или гумуса.*

**Ключевые слова:** техногенные ландшафты; окислительно-восстановительные процессы; инициальные, органо-аккумулятивные, дерновые, гумусово-аккумулятивные эмбриоземы.

### Введение

Оценивая специфику формирования почвенного и растительного покрова в техногенных ландшафтах Сибири, прежде всего, необходимо учитывать тот факт, что основная часть предприятий, деятельность которых связана с

извлечением на поверхность большого количества ископаемых пород, приурочена либо к горным областям, либо, прилегающим к ним территориям. И это не случайно, поскольку при формировании горных систем, в результате тектонических процессов, сравнительно близко к поверхности оказываются породы, служащие ценным сырьем для черной, цветной металлургии и других отраслей промышленности. Кроме того, в низкогорьях и в прилегающих к ним сильно расчлененных равнинах создаются благоприятные условия для протекания эрозионно-аккумулятивных процессов, в результате чего происходит перераспределение осадочных пород, которое обуславливает доступность угленосных пластов.

Подобное распределение ресурсов промышленности и энергетики определяет очаговость и высокую интенсивность антропогенной нагрузки для некоторых регионов Сибири, особое место среди которых занимает Кемеровская область, где площадь техногенных ландшафтов по разным оценкам составляет от 75 до 200 тыс. га [1, 2]. При этом каждый год в Кузбассе только предприятия угольной промышленности выносят на поверхность до 3 млрд т твердых отходов [3]. Большую часть этих отходов составляют восстановленные вскрышные и вмещающие породы, извлекаемые при добыче угля. На поверхности, попадая в окислительные условия, эти вещества начинают окисляться. Процесс окисления сопровождается образованием новых соединений, способных накапливаться или мигрировать и тем самым осложнять экологическую обстановку в прилегающих ландшафтах.

Известно, что окислительно-восстановительные системы почв способны к закреплению и детоксикации продуктов окисления. Например, в процессе гумусообразования фенольные вещества способны объединяться в полимеры, сходные по свойствам с гумусовыми кислотами [4]. Важнейшим условием, обеспечивающим трансформацию исходных (литогенных) окислительно-восстановительных систем в педогенные, является поступление на поверхность и вглубь субстрата веществ биогенной природы. Влияние растительности, как фактора, определяющего количество и качество поступающих биогенных веществ, на различных почвах неодинаково и находится в тесной связи с этапами эволюции эмбриоземов.

Цель настоящего исследования – оценка влияния растительного покрова на процессы трансформации окислительно-восстановительных систем в почвах техногенных ландшафтов Кемеровской области.

### **Материалы и методики исследования**

Объектами исследований были выбраны почвы, сформированные на отвалах Ольжерасского каменноугольного разреза, расположенного в горнотаежной зоне Кузбасса в 15 км к северо-востоку от г. Междуреченска Кемеровской области. В настоящее время на поверхности отвала сформированы эмбриоземы, относящиеся, в соответствии с классификацией почв техноген-

ных ландшафтов [5], к типам инициальных, органо-аккумулятивных, дерновых и гумусово-аккумулятивных.

Помимо определения флористического состава растительных группировок, в исследуемых типах эмбриоземов по глубинам 0–10, 20–30 и 40–50 см отбирались образцы почвы, в которых определялись окислительная емкость, фракционный состав окислительно-восстановительных систем [6], гранулометрический состав [7], а также содержание гумуса [8].

### Результаты исследования и обсуждение

Наблюдения показали, что флористический состав инициальных эмбриоземов беден. Древесные растения представлены березой бородавчатой (*Betula pendula* Roth) и ивой козьей (*Salix caprea* L.). Редко встречаются травянистые растения, такие как мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), донник лекарственный (*Melilotus officinalis* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.). Проективное покрытие поверхности не превышает 40%. Все это позволяет охарактеризовать растительную группировку как пионерную.

Рассеянное расположение растений и бедный флористический состав пионерных группировок, определяемые высокой каменистостью и низким содержанием мелкозема (рис. 1), ослабляют роль растительности как источника поступления органического вещества в процессах формирования окислительно-восстановительных систем инициальных эмбриоземов. Поэтому содержание восстановленных, преимущественно литогенных, веществ значительно превышает таковое в других типах эмбриоземов. Также о преобладании литогенных компонентов в окислительно-восстановительных системах инициальных эмбриоземов свидетельствует высокое содержание в профиле трудноокисляемых веществ (таблица). В то же время некоторое увеличение содержания гумуса в верхнем 10-сантиметровом слое говорит о химическом преобразовании исходных компонентов. Таким образом, если учитывать всю неразвитость биогенных и педогенных процессов в данном типе почв, то характер преобразования исходной окислительно-восстановительной системы можно определить как хемогенный.

В отличие от инициальной на органо-аккумулятивной стадии эволюции эмбриоземов [9] во флористическом составе преобладают травянистые растения, относящиеся к семейству бобовых (Fabaceae). Это клевер луговой (*Trifolium pratense*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*), донник белый (*Melilotus albus* Medik.), чина Гмелина (*Lathyrus gmelinii* Fritsch). Также встречаются и несколько видов злаковых растений, таких как полевица гигантская (*Agrostis gigantea* Roth), ежа сборная (*Dactylis glomerata*). Проективное покрытие здесь составляет 80%. Поэтому местообитаниям, представленным органо-аккумулятивными эмбриоземами, соответствуют простые растительные группировки.

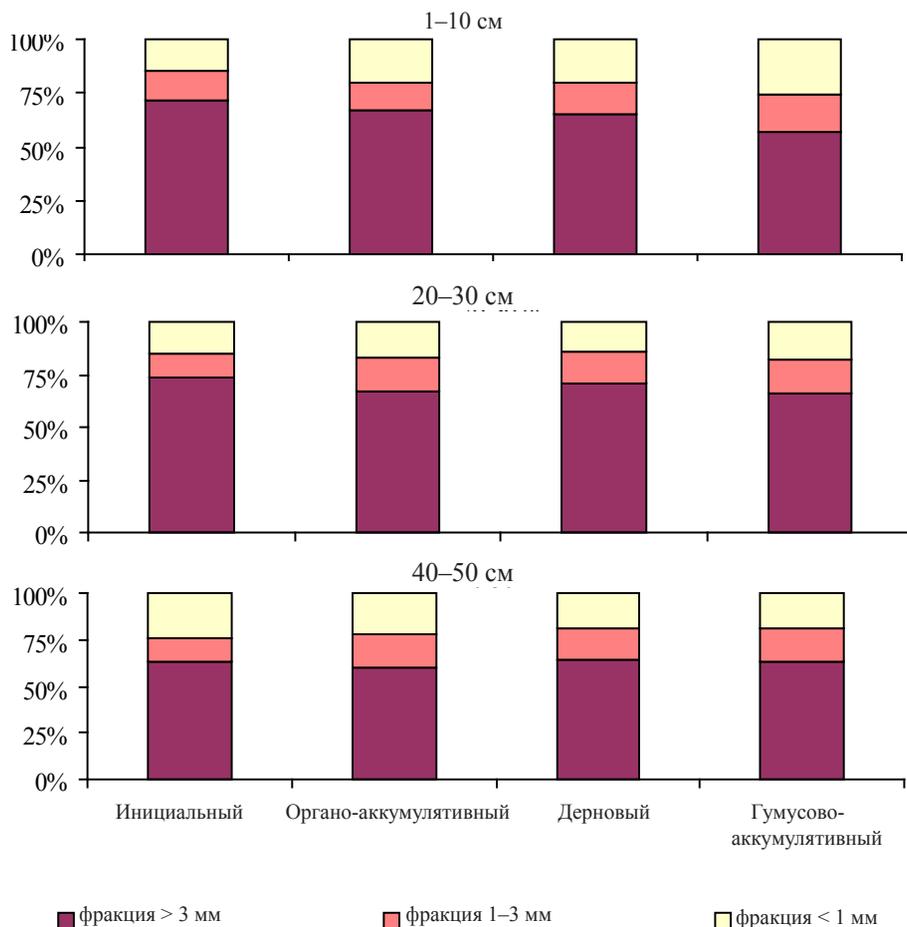


Рис. 1. Распределение фракций крупнозема в исследуемых почвах

## Содержание и распределение компонентов окислительно-восстановительных систем

Тип почвы	Глубина, см	Содержание		Доля фракции, % от валового количества		
		гумуса, %	восстановленных веществ, мг-экв./100 г	трудно-окисляемые соединения	средне-	легко-
Инициальный эмбриозем	0-10	0,70	2526	9,9	69,8	20,3
	20-30	0,54	2557	20,6	53,5	25,9
	40-50	0,59	1745	12,2	62,3	25,5
Органо-аккумулятивный эмбриозем	0-10	1,64	1462	16,3	60,6	23,1
	20-30	1,68	1112	11,9	65,5	22,5
	40-50	1,68	1239	14,1	58,6	27,2
Дерновый эмбриозем	0-10	1,83	1342	11,9	62,9	25,2
	20-30	1,81	1108	10,2	66,7	23,1
	40-50	1,56	1117	6,1	68,8	25,1
Гумусово-аккумулятивный эмбриозем	0-10	1,95	1906	22,3	52,2	25,5
	20-30	1,98	1537	10,8	60,8	28,5
	40-50	1,83	1503	5,4	63,8	30,9
НСП 05	—	0,21	62	—	—	—

Развитие простых растительных группировок способствует накоплению мелкозема в верхнем 10-сантиметровом слое, однако отмеченное соотношение количества мелкозема и камней приводит к иссушению верхнего слоя почвы. Это ограничивает развитие микроорганизмов, разлагающих растительные остатки. По этой причине в органо-аккумулятивных эмбриоземах формируется и долго сохраняется хорошо выраженный горизонт аккумуляции биогенных восстановленных веществ (подстилки).

Образовавшийся генетический горизонт в результате действия биогенных окислительно-восстановительных процессов со временем претерпевает изменения. Эти процессы, а также их продукты, воздействуют на нижележащую породу, что приводит к наложению биогенных окислительно-восстановительных процессов на хемогенные. Результатом такого взаимодействия можно считать появление восстановленных веществ педогенной природы, т.е. начало формирования педогенной окислительно-восстановительной системы. Это сопровождается повышением содержания гумуса, в то время как количество восстановленных веществ в данном типе эмбриоземов уменьшается примерно в 1,5 раза (таблица).

Следующая стадия развития эмбриоземов, дерновая, характеризуется сложной растительной группировкой. Проективное покрытие растительностью достигает 90%. Характерной особенностью местообитаний является преобладание злаковых (Poaceae) растений. Это полевица гигантская (*Agrostis gigantea*), полевица тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth.), тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), мятлик обыкновенный (*Poa trivialis* L.). Из бобовых (Fabaceae) наиболее часто встречаются клевер луговой (*Trifolium pratense*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*). Реже встречаются виды, относящиеся к семейству сложноцветных (Asteraceae): это полынь Сиверса (*Artemisia sieversiana* Willd.), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.).

Благодаря тому, что преобладающие в данном типе эмбриоземов злаковые растения образуют мощную корневую систему, в почвенном профиле, под травянистой подстилкой, формируется четко выраженный дерновый горизонт. Поэтому, в результате образования еще одного генетического горизонта, контакт между породой и поверхностью осложняется. В связи с этим отмечается дальнейшее снижение количества камней, особенно в верхних горизонтах (см. рис. 1). Ниже оно может возрастать и даже превышать содержание их в профиле органо-аккумулятивного эмбриозема. Содержание мелкозема в верхнем 10-сантиметровом слое около 20%. Вниз по профилю оно несколько уменьшается по сравнению с органо-аккумулятивным эмбриоземом. Наблюдаемые особенности объясняются тем, что на смену физическому выветриванию, которое ослабевает вследствие ограничения прямого контакта породы с поверхностью, приходит биофизическое и биохимическое.

Все это приводит к возрастанию активности биогенных окислительно-восстановительных процессов и обеспечивает вовлечение материала техногенного элювия в активное взаимодействие с биогенной частью профиля.

Содержание гумуса при этом продолжает увеличиваться и превышает 1,8%. (см. таблицу).

На гумусово-аккумулятивной стадии формирования эмбриоземов, сингенетичной замкнутому фитоценозу, отмечается смыкание надземного и подземного ярусов растительного покрова. Таким образом, проективное покрытие составляет здесь 100%. Во флористическом составе преобладают травянистые растения, относящиеся к семейству злаковых (Poaceae). Это пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), полевица гигантская (*Agrostis gigantea*), тимофеевка луговая (*Phleum pratense*), мятлик обыкновенный (*Poa trivialis*). Следующая группа наиболее встречающихся в данном фитоценозе растений относится к семейству сложноцветных (Asteraceae) и представлена полынью Сиверса (*Artemisia sieversiana*), нивяником обыкновенным (*Leucanthemum vulgare* Lam.) и репейником большим (*Arctium lappa* L.). Реже встречаются виды, относящиеся к семейству бобовых (Fabaceae), такие как клевер луговой (*Trifolium pratense*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*).

В результате формирования замкнутого фитоценоза увеличивается количество, а также улучшается разнообразие поступающего в почву растительного опада. Об этом свидетельствует значительное увеличение в верхней части профиля гумусово-аккумулятивного эмбриозема содержания биогенных трудноокисляемых восстановленных веществ, что, в совокупности с другими факторами почвообразования, приводит к повышению интенсивности формирования педогенных окислительно-восстановительных процессов и, как следствие, к образованию горизонта аккумуляции восстановленных веществ педогенной природы (гумусово-аккумулятивный горизонт).

### Заключение

Таким образом, обобщая описанные выше особенности развития окислительно-восстановительных систем в зависимости от состава растительных группировок, отметим следующее:

1. Формирование педогенных окислительно-восстановительных систем при почвообразовании протекает поэтапно, сингенетично стадиям сукцессии фитоценозов.

2. Пионерная растительная группировка, характерная для инициальных эмбриоземов, не обеспечивает поступления достаточного количества биогенных веществ. Преобладающими процессами трансформации окислительно-восстановительных систем в этих эмбриоземах являются хемогенные.

3. Простая растительная группировка, свойственная органо-аккумулятивным эмбриоземам, способствует протеканию активных биологических процессов. Это выражается в напочвенном накоплении восстановленных ве-

ществ биогенной природы, формирующих горизонт травянистой подстилки. Для данного типа эмбриоземов свойственно преобладание биогенных окислительно-восстановительных процессов.

4. Формирование сложной растительной группировки на дерновых эмбриоземах обеспечивает развитие педогенных окислительно-восстановительных процессов. Это происходит при внутрпочвенном воздействии на субстрат живых организмов, а также продуктов их жизнедеятельности.

5. Замкнутый фитоценоз, характерный для гумусово-аккумулятивных эмбриоземов, способствует протеканию педогенно-аккумулятивных окислительно-восстановительных процессов. Развитие этих процессов сопровождается образованием горизонта аккумуляции восстановленных веществ педогенной природы или гумуса.

### *Литература*

1. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
2. Водолеев А.С., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю. Почвоулучшители: рекультивационный аспект. Новосибирск : Наука, 2007. 200 с.
3. Захаров А.П. Подбор новых фитомелиоративных культур для посева на породных отвалах открытой добычи угля в условиях Кузбасса // Рекультивация нарушенных земель в Сибири. 2006. Вып. 2. С. 22–28.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М. : Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
5. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск : Наука, 1992. 305 с.
6. Патент на изобретение № 2375698. Способ определения фракционного состава восстановленных веществ отвалов каменноугольных разрезов. 2009.
7. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М. : Высш. шк., 1973. 399 с.
8. Соколов Д.А. Специфика определения органических веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2(18). С. 17–25.
9. Гаджиев И.М., Курачев В.М., Андроханов В.А. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель. Новосибирск : ЦЭРИС, 2001. 37 с.

*Поступила в редакцию 22.11.2012 г.*

Denis A. Sokolov<sup>1</sup>, Sergey P. Kulizskiy<sup>2</sup><sup>1</sup>*Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*<sup>2</sup>*Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia***SINGENESYS OF VEGETATION COVER AND REDOX  
SYSTEMS FORMING IN SOILS OF BURROWS OF COAL-PITS**

Every year, up to three billion tons of solid waste are brought to the surface in the Kuznetsk Coal Basin. The majority of them consist of overburden and enclosing rocks extracted during coal mining. When on the surface, these substances start to undergo the process of oxidation, which is accompanied by the formation of new compounds capable of accumulating or migrating and, thus, complicating the environmental situation in the adjacent landscapes. The soil redox systems are known to be capable of fixation and detoxication of the products of oxidation. For instance, in the process of the humus formation, phenolic substances can form polymers that are similar in their properties to humus acids. The entry of biogenic substances on surface and into substratum is the most important condition for transformation of initial lithogenic redox systems to paedogenic. The influence of vegetation as a factor determining both quantity and quality of incoming biogenic substances in different soils is irregular and depends on embriosems evolution stages. In reference to these facts the goal of research was to evaluate vegetative cover influence on redox system transformation processes in soils of man-caused landscapes of Kemerovo region. Soils formed on Olgerass coal-mine dumps, located in mountain-taiga zone of Kuzbass were taken as objects of research. Embriosems formed at this moment on surface of coal-mine dump refer to initial, organo-accumulative, turf and humus-accumulative types, in accordance with man-caused landscapes soil classification. The results of the research show that transformation of initial lithogenic redox systems to paedogenic depends on floral group composition. Meanwhile forming paedogenic redox systems proceed stepwise, in accordance with phytocenosis succession stages. It is ascertained that pioneer vegetation, typical of initial embriosems, does not provide enough quantity of biogenic substances entry. Chemogenic redox systems transformation processes are prevalent in such embriosems. Simple vegetation corresponded to organo-accumulative embriosems sustain activation of biologic processes. It expressed in accumulation of reduced biogenic substances on surface of the soil as turf horizon. Predominance of biogenic redox processes is attributable for such type of embriosems. Complex vegetation forming on turf embriosems support advance of paedogenic redox processes. It takes place under intra-soil influence of live organisms and their vital activity products on substratum. Self-contained phytocenosis, typical of humus-accumulative embriosems, sustain paedogenic accumulative redox processes. The evolution of these processes is accompanied by the forming of paedogenic reduced substances or humus accumulative horizon.

**Keywords:** *technogenic landscapes; redox; processes; initials; organic-accumulative; turfen; humic-accumulative embriozems.*

*Received November 22, 2012*