

Запасы восстанавливаемых веществ в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса

Д. А. СОКОЛОВ, В. Г. ДВУРЕЧЕНСКИЙ, В. А. АНДРОХАНОВ

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

АННОТАЦИЯ

Оценены запасы восстанавливаемых веществ в почвах отвалов каменноугольных разрезов. Показано, что для предотвращения негативных последствий, инициированных восстановительными процессами, протекающими в отвалах, необходимо при формировании техногенных ландшафтов создавать условия для развития процессов почвообразования и скорейшего достижения ими гумусово-аккумулятивной стадии эволюции почв.

Ключевые слова: техногенные ландшафты, эмбриоземы, формы железа, окислительно-восстановительные процессы, восстанавливаемые вещества.

С геохимической точки зрения процесс почвообразования представляет собой постоянную миграцию химических элементов, а его отдельные стадии, характеризующие определенный тип почв, обуславливают специфику накопления, перераспределения и выноса продуктов почвообразования [1]. При этом масштабы процессов миграции различных веществ могут достигать больших значений и приводить к негативным экологическим последствиям. Один из наиболее ярких примеров проявления таких последствий – техногенные ландшафты.

Дело в том, что процесс техногенеза сопровождается совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью человека по извлечению и перегруппировке ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений [2]. В результате разработки угольных месторождений в Кузбассе на дневную поверхность выносятся до 3 млрд т

вскрышных и вмещающих пород в год [3]. Попадая в иную геохимическую обстановку, данные породы начинают преобразовываться. Такое преобразование сопровождается формированием соединений, способных накапливаться или мигрировать в окружающей среде, приводя к осложнению экологической обстановки в регионе.

Для более объективной и полной оценки экологических последствий, инициированных угледобычей в Кемеровской области, в качестве индикаторов выбраны окислительно-восстановительные процессы. Все компоненты окислительно-восстановительных систем делят на две группы: восстановленные, или окисляемые, и окисленные, или восстанавливаемые [4]. 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 суб-

страдах с повышенным содержанием восстановленных веществ, каковыми являются почвы техногенных ландшафтов, процессы окисления сопровождаются восстановлением и других окисленных соединений [5]. Поскольку закисные формы этих соединений часто активнее окисных [6], то при исследовании особое внимание уделялось поведению окисленных, или восстанавливаемых, веществ.

Способность веществ к восстановлению может быть обусловлена структурой составляющих их молекул или свойствами входящих в эти молекулы элементов. По природе они могут быть органическими, в которых восстанавливаются молекулы в целом (гумусовые вещества), и минеральными, в которых восстанавливаются атомы элементов с переменной валентностью, такие как железо и марганец. Однако в исследуемых техногенных объектах содержание марганца незначительно и редко достигает 0,05 %, в то время как содержание железа колеблется от 4 до 7 % [7]. Поэтому восстановление элементов с переменной валентностью происходит в основном за счет различных форм железа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на разновозрастных отвалах в молодых почвах – эмбриоземах, находящихся на разных этапах биологического освоения. Согласно классификации почв техногенных ландшафтов [8], почвенный покров на нарушенных землях формируется сингенетично стадиям развития растительных сукцессий. При этом в Кузбассе в большинстве случаев последовательно образуются четыре типа эмбриоземов: инициальные, органоаккумулятивные, дерновые и гумусово-аккумулятивные, которые характеризуются определенным строением слабовыраженного почвенного профиля и различаются по степени развитости биологических и почвообразовательных процессов.

Для характеристики фракционного состава восстанавливаемых соединений в исследуемых почвах в лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН разработан способ определения фракционного состава окисленных веществ. Этот метод позволяет в зависимости от способности к восстановлению выде-

лить фракции трудно-, средне- и легковосстанавливаемых веществ [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ долевого распределения фракций окисленных соединений в профилях эмбриоземов показал, что в процессе формирования окислительно-восстановительных систем происходит убыль литогенных и накопление хемо- и педолитогенных восстанавливаемых веществ (рис. 1). Такое распределение восстанавливаемых веществ в эволюционном ряду эмбриоземов соответствует распределению форм несиликатного железа (рис. 2). При этом степень кристаллизации железа во многом обуславливает устойчивость этих веществ к восстановлению. Определено, что фракция трудновосстанавливаемых веществ имеет преимущественно хемогенную природу и представлена сильноокристаллизованной формой

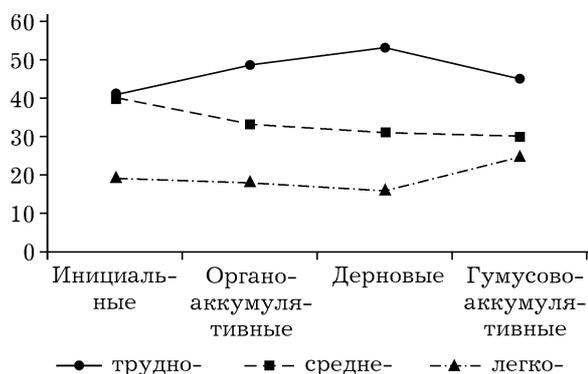


Рис. 1. Распределение фракций восстанавливаемых соединений по типам эмбриоземов, % от валового

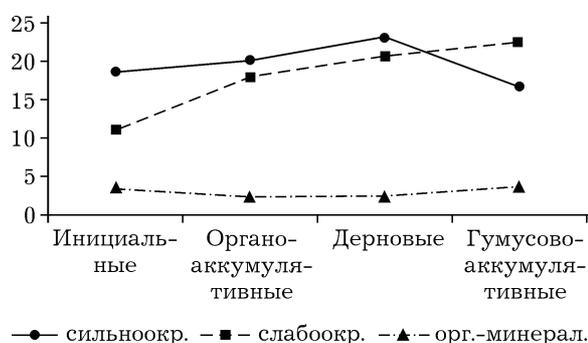


Рис. 2. Распределение форм несиликатного железа по типам эмбриоземов, % от валового

железа, а фракция легковосстанавливаемых веществ – педолитогенными органоминеральными его соединениями [10].

Таким образом, в исследуемых типах почв соединениями, наименее подверженными восстановлению, являются сильноокристаллизованные хемогенные вещества. Менее склонным к восстановлению соответствуют слабоокристаллизованные литогенные вещества. Наиболее податливы к восстановлению органоминеральные вещества педолитогенной природы. Отличительная особенность легковосстанавливаемых веществ – их подвижность. Учитывая это, а также то, что восстановление этих веществ происходит в диапазоне значений рН (4,9–5,1 и выше), характерном для исследуемых почв, следует обратить особое внимание на содержание фракции легковосстанавливаемых веществ. Данная особенность ярко проявляется в эмбриоземах инициальных и органоаккумулятивных, где системы гумусовых веществ, связывающих восстанавливаемые соединения, не развиты.

Принимая во внимание вышеописанные закономерности дифференциации восстанавливаемых веществ в почвах отвалов каменноугольных разрезов, зная их содержание в мелкозем, содержание мелкозема в почве и ее плотность, произвели расчет запасов восстановленных веществ послойно на определенную площадь. В этом случае учитывали, что помимо мелкозема в эмбриоземах содержится от 60 % и более каменистых фракций, которые содержат вещества, как способные к восстановлению, так и не участвующие в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в почве.

Поскольку восстанавливаемые вещества в эмбриоземах на 98–99 % представлены раз-

личными формами преимущественно несилкатного железа, то для расчета запасов этих веществ использовали пересчет на железо в тоннах на гектар. Полученные данные показывают содержание восстанавливаемых веществ в эмбриоземах в слое 0–50 см – во всем профиле молодых почв, т. е. в зоне активного преобразования субстрата, к которой приурочены все педо-, био- и хемогенные процессы [11].

Исходя из площади, занимаемой эмбриоземами [12], произвели расчет запасов восстанавливаемых веществ в полуметровой толще по всему региону. Общая масса веществ, способных к восстановлению, в Кемеровской области составила 221 тыс. т в пересчете на железо. Расчет запасов восстанавливаемых веществ в различных типах эмбриоземов Кузбасса показал, что их общее содержание определяется площадями, занимаемыми тем или иным типом эмбриоземов (табл. 1).

Специфика распределения восстанавливаемых соединений по типам эмбриоземов заставила обратить внимание на фракционный состав этих веществ в целом по региону (табл. 2). Содержание трудновосстанавливаемых веществ, приходящихся на хемогенные соединения в эмбриоземах Кузбасса, составило 47,0 %. Доля средневосстанавливаемых веществ, относящихся преимущественно к литогенным веществам, 33,5 %. Особое внимание уделялось легковосстанавливаемым веществам – продуктам окислительно-восстановительных систем, способным к миграции. Их доля в эмбриоземах Кузбасса 19,5 %.

Почти 41 тыс. т веществ, способных к восстановлению, содержащихся в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса, приходится на подвижные легковосстанавливаемые вещества (см. табл. 2). Из них 70 % приходится на

Т а б л и ц а 1

Запасы восстанавливаемых веществ в полуметровой толще эмбриоземов техногенных ландшафтов Кузбасса

Эмбриоземы	Запас в профиле, т/га	Площадь эмбриоземов, га	Всего по Кузбассу, т
Инициальные	3,36	16 887	56 800
Органоаккумулятивные	5,15	18 632	95 900
Дерновые	3,45	14 102	48 700
Гумусово-аккумулятивные	3,48	5679	197 00
Итого	–	55 300	221 000

Т а б л и ц а 2

Распределение восстановленных веществ по типам эмбриоземов в техногенных ландшафтах Кузбасса

Эмбриоземы	Содержание фракций восстанавливаемых веществ, т		
	трудно-	средне-	легко-
Инициальные	23 174,4	22 720	10 905,6
Органоаккумулятивные	46 703,3	31 742,9	17 453,8
Дерновые	25 957,1	14 999,6	7743,3
Гумусово-аккумулятивные	8904,4	5910	4885,6
Итого	104 739,2	75 372,5	40 988,3

эмбриоземы инициальные и органоаккумулятивные, которые формируются преимущественно на склоновых поверхностях.

Исходя из этого, а также принимая во внимание, что восстановление этих веществ возможно при физико-химической обстановке, близкой к таковой в эмбриоземах, можно сделать вывод, что значительная часть легковосстанавливаемых веществ мигрирует из почвенного профиля с внутрпочвенным стоком.

Для оценки экологических последствий, инициированных восстановлением веществ в почвах техногенных ландшафтов, рассчитывали концентрации растворов, полученных при растворении в них восстанавливаемых веществ. Расчет проводили исходя из учета количества осадков, выпадающих на единицу поверхности за год. Для Кузбасса в среднем это 3500 т/га для лесостепной зоны и 5500 т/га для горно-таежного пояса. При этом доля площадей техногенных ландшафтов в горно-таежном поясе Кузбасса составляет 35 %, а в лесостепи – 65 %. Поэтому среднее количество осадков, приходящихся на горизонтальные поверхности техногенных ландшафтов для всего региона, составило 4100 т/га в год. Известно также, что доля горизонтальных поверхностей от общей площади поверхности отвалов составляет в среднем 20 %.

Причем для каждого конкретного типа эмбриоземов суммарная площадь горизонтальных поверхностей не одинакова. Это обусловлено тем, что на склоновых поверхностях различной экспозиции и крутизны создаются условия, отличные от таковых на горизонтальных поверхностях, что определяет неодинаковую скорость эволюции почв на этих участках [12]. В связи с этим доля склоновых поверхностей, занятых эмбриоземами инициальными, значительно больше занятой эмбриоземами гумусово-аккумулятивными. Поэтому сумма годовых осадков на всей поверхности техногенных ландшафтов определяется соотношением склоновых и горизонтальных поверхностей для каждого конкретного типа эмбриоземов (табл. 3).

По годовому приходу атмосферных осадков на единицу поверхности отвала и содержанию в эмбриоземах веществ, способных к восстановлению, рассчитали концентрации почвенных растворов (табл. 4). Если посмотреть отношение этой величины к предельно допустимой концентрации железа (ПДК) в питьевой воде (0,3 г/м³), то превышение ее составляет от 3,4 до 5,7 раз. Однако известно, что большинство восстанавливаемых веществ, представленных в разной степени окисленными формами несиликатного железа, не являются миграционноспособными.

Т а б л и ц а 3

Распределение годового количества атмосферных осадков по типам эмбриоземов

Эмбриоземы	Склоновые поверхности, %	Количество осадков, т/га
Инициальные	85,7	3034
Органоаккумулятивные	86,9	3023
Дерновые	77,7	3110
Гумусово-аккумулятивные	46,2	3448

Содержание и соотношение фракций восстанавливаемых веществ в почвенном растворе

Эмбриоземы	Содержание восстанавливаемых веществ в почвенном растворе		
	валовое	легковосстанавливаемых	
	г/м ³	г/м ³	% от валового
Инициальные	1,1	0,21	19,2
Органоаккумулятивные	1,7	0,31	18,2
Дерновые	1,1	0,18	15,9
Гумусово-аккумулятивные	1,0	0,25	24,8

ми соединениями. Исключение составляет фракция легковосстанавливаемых веществ – наиболее подвижная в силу своей податливости к восстановлению.

Анализ содержания фракции легковосстанавливаемых веществ в почвенном растворе показал, что наибольшее количество подвижных восстанавливаемых веществ приурочено к эмбриоземам органоаккумулятивным (см. табл. 4). Меньшее содержание этих веществ отмечено в эмбриоземах инициальных и дерновых, а в гумусово-аккумулятивных оно превышает среднее содержание легковосстанавливаемых веществ во всех типах эмбриоземов. Это обусловлено тем, что эмбриоземы гумусово-аккумулятивные сформированы преимущественно на горизонтальных поверхностях, в которых не так выражены процессы миграции, инициированные поверхностным или внутрпочвенным стоком. Кроме того, как уже отмечено, в данном типе эмбриоземов легковосстанавливаемые соединения представлены органоминеральными соединениями железа, связанными с формирующейся здесь системой гумусовых веществ, что также несколько препятствует их миграции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При угледобыче процесс разрушения исходной эволюционно обусловленной литогенной окислительно-восстановительной системы происходит неупорядоченно и сопровождается восстановлением окисленных веществ (Fe³⁺). Поскольку восстановленные формы этих элементов более подвижны, чем окисленные (окисленные), то процессы восстановления, протекающие в почвах техногенных ланд-

шафтов, способны осложнить экологическую обстановку на прилегающих территориях.

В настоящее время запасы восстанавливаемых веществ, находящихся в полуметровой толще отвалов по всему Кузбассу, составляют 221 тыс. т и представлены различными формами преимущественно несиликатного железа. При этом 19,5 % этих веществ приходится на соединения, способные восстанавливаться в молодых почвах – эмбриоземах и мигрировать с поверхностным и внутрпочвенным стоком. Концентрация железа в образовавшихся растворах значительно превышает предельно допустимую. Закрепление легковосстанавливаемых веществ в почвенном профиле достигается при развитии процессов гумусообразования в гумусово-аккумулятивных эмбриоземах. Поэтому при проведении рекультивационных мероприятий необходимо создавать условия для развития процессов почвообразования и скорейшего достижения эмбриоземами гумусово-аккумулятивной стадии эволюции почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаджиев И. М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 270 с.
2. Реймерс Н. Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. С. 275.
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. № 2. С. 22–28.
4. Кауричев И. С., Орлов Д. С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М., 1982.
5. Савич В. И., Сидоренко О. Д., Трубицина Е. В., Улько Н. Г. Оценка окислительно-восстановительного состояния в системе почва – растение. М.: 1984. 93 с.

6. Гантимуров И. И. Исследования по вопросам общего и прикладного почвоведения. Новосибирск, 1969.
7. Курачев В. М. Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 255–261.
8. Соколов Д. А. Способ определения фракционного состава окисленных веществ отвалов каменноугольных разрезов. Патент РФ № 2425364 от 27.07.2011.
9. Двуреченский В. Г. Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 19 с.
10. Зонн С. В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982.
11. Соколов Д. А. Специфика распределения фракций окисленных веществ в почвах техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2010. № 3. С. 483–488.
12. Андроханов В. А., Курачев В. М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.

Reserves of Restorable Substances in the Soils of Technogenic Landscapes of the Kuznetsk Basin

D. A. SOKOLOV, V. G. DVURECHENSKII, V. A. ANDROCHANOV

*Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry SB RAS
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18
E-mail: dvu-vadim@yandex.ru*

Storage of reducible substances in the soils of coal-pit dumps is evaluated. It is ascertained that reducible substances content in 0.5-m strata of coal-pit dumps all over the region is 221 thousand tons and these substances consist of different forms of non-silicate iron. 19.5 % of these substances at that fall on compounds able to reduce and migrate with superficial water and intrasoil runoff in embryozems. Solutions arisen in this case exceed the maximum concentration limit of iron. It is shown that during forming man-caused landscapes it is necessary to provide conditions for the development of soil formation processes and faster attainment of humus-accumulative stage of soil evolution to prevent the negative consequences initiated by reducing processes proceeding in dumps.

Keywords: technogenic landscapes, embryozems, forms of iron; oxidation-reduction processes, restorable substances.