

УДК 631.41

doi: 10.17223/19988591/17/2

**В.П. Середина¹, Т.П. Алексеева², Л.Н. Сысоева²,
Н.М. Трунова², Т.И. Бурмистрова²**

¹Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)

²Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
и торфа Россельхозакадемии (г. Томск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В НАРУШЕННЫХ ПРИ УГЛЕДОБЫЧЕ ПОЧВАХ

Представлены результаты исследования органического вещества фоновых и техногенных почв Кузбасса. Выявлено, что при увеличении возраста технозёмов возрастает содержание общего углерода, углерода лабильного органического вещества, а также углерода гуминовых кислот. Показано, что с течением времени в техногенных почвах возрастает степень сформированности гуминовых кислот. Полученные результаты свидетельствуют о том, что нарушенная при угледобыче почва стремится к самовосстановлению. Динамика накопления и превращения органического вещества может использоваться как показатель эффективности рекультивации техногенно нарушенных почв.

Ключевые слова: фоновые почвы; Кузнецкая котловина; угледобыча; эмбриозем; органический углерод; рекультивация.

Введение

Современное экологическое состояние регионов горнодобывающей промышленности вызывает не только экономическую, но и социальную тревогу. Проблема рекультивации почв, нарушенных в результате техногенной деятельности человека, является очень важным звеном в системе мероприятий по охране окружающей среды, оптимизации экологической обстановки как в целом по России, так и в отдельных ее регионах. По данным О.И. Глебовой [1], в результате горнодобывающих работ в равнинной части Кузнецкой котловины почвенный покров полностью нарушен на площади около 100 тыс. га, из которых 80 тыс. га – работой угольных предприятий. По доле нарушенных земель в общей территории региона Кузбасс в 10 раз опережает средний показатель по России. Такие воздействия привели к необходимости обратить особое внимание на охрану природы и разработку специальных мероприятий по восстановлению нарушенных ландшафтов, таких как рекультивация. За время эксплуатации Кузнецкого угольного бассейна рекультивировано менее 20% нарушенных земель.

Для оценки эффективности мероприятий по рекультивации почв существует множество показателей, среди которых ведущая роль принад-

лежит гумусу. Органическое вещество, прежде всего гумусовые кислоты, как известно, выполняет ряд функций, которые направлены на регуляцию устойчивого функционирования почв и экосистем в биосфере. Однако при проведении биологической рекультивации почв техногенных ландшафтов необходимы знания особенностей трансформации органического вещества почв, формирующихся в конкретных почвенно-литологических условиях.

Цель исследования – изучение процессов накопления и превращения органического вещества в техногенно нарушенных при угледобыче почвах в пределах Кузнецкой котловины.

Материалы и методики исследования

Объектами исследования послужили естественные и техногенные почвы Кузнецкой котловины: зональная фоновая почва (чернозем обыкновенный среднесуглинистый) и техногенные почвы угольных разрезов различного возраста: «Виноградовского» – эмбриозем инициальный (возраст 1 год), эмбриозем дерновый (15 лет); «Сартаки» – эмбриозем инициальный (3 года), эмбриозем дерновый (9 лет). В морфологическом отношении эти типы эмбриоземов имеют сходства и отличия. Сходны они в том, что имеют очень малую мощность почвенного профиля, не превышающую (до горизонта почвообразующей породы) 30–40 см, и слабую степень морфологической дифференциации минеральной части почвенного профиля на генетические горизонты. Различаются перечисленные типы эмбриоземов главным образом по степени выраженности биоаккумулятивных процессов, морфологии и генезису биогенных горизонтов, в частности органогенных. В инициальных эмбриоземах какие-либо органогенные горизонты отсутствуют; в органо-аккумулятивных – обязательно присутствует горизонт подстилки древесного или травянистого происхождения; в дерновых – подстилка может отсутствовать, но обязательно наличие дернины; в гумусово-аккумулятивных – всегда есть гумусово-аккумулятивный горизонт [2–4]. Характерной особенностью всех типов эмбриоземов можно считать формирование своеобразной зоны окисления в верхней части породы. Морфологически эта зона отличается от нижележащей более бурым цветом мелкозема.

Аналитические исследования фоновой почвы и эмбриоземов выполнены с использованием общепринятых в почвоведении методов. Определение содержания общего органического углерода ($C_{\text{общ}}$) и углерода лабильного органического вещества ($C_{\text{ЛОВ}}$) проведено методом Тюрина по ЦИНАО (ГОСТ 26213-91) [5] с фотометрическим окончанием на колориметре фотоэлектрическом концентрационном КФК-2 производства Загорского производственного объединения «ЗОМЗ» (Россия). При оценке процесса накопления и превращения органического вещества на техногенных почвах извлечение лабильного органического вещества (ЛОВ) проведено 0,1 н NaOH [6]. Для

определения углерода гуминовых кислот ($C_{ГК}$) в составе ЛОВ использован ускоренный пирофосфатный метод – извлечение ЛОВ проведено смесью пирофосфата натрия и гидроксида натрия [7]. Определение оптических свойств гуминовых кислот проведено согласно рекомендациям Д.С. Орлова [7]. Ферментативная активность определена по Ф.Х. Хазиеву [8].

Результаты исследования и обсуждение

Регулятором всех главнейших свойств почвы, ее устойчивости, обуславливающим водно-воздушный и питательный режимы растений, выступает гумус. Гумусовые компоненты стабилизируют многие почвенные процессы, поэтому изучение природы и свойств органического вещества в почвах исключительно важно для оценки их устойчивости к техногенному давлению. Учитывая современные подходы к изучению и оценке органического вещества почвы с точки зрения его мобильности, считается целесообразным разделить его на две большие группы: группу консервативных, устойчивых соединений и группу лабильных веществ [9].

Группа консервативных соединений объединяет те компоненты органического вещества почвы, которые характеризуют типовые показатели почв, формирующиеся в течение длительного времени и сохраняющиеся в вековых циклах. Это прежде всего зрелые гумусовые кислоты почвы, гуматы кальция, другие органоминеральные производные, гумин, частично лигнин и его производные. Они существуют в почве сотни и тысячи лет, слабо вовлекаются в минерализацию и обуславливают устойчивые свойства почвы, присущие ей типовые признаки. С содержанием, составом и свойствами этих веществ связаны окраска почв, тепловой режим, водно-физические характеристики, емкость поглощения, кислотно-основные свойства, буферность почв, потенциальные запасы элементов питания.

Консервативные вещества довольно устойчивы к минерализации, поэтому их роль как непосредственного источника питательных элементов для культурных растений очень незначительна; они определяют потенциальное плодородие почв. Лабильные органические вещества наименее устойчивы в биохимическом отношении, они относительно легко поддаются минерализации, участвуют в формировании водопрочной структуры, выполняют защитную функцию в отношении консервативного органического вещества, служат непосредственным и наиболее доступным источником питания растений и микроорганизмов и характеризуют эффективное плодородие почв. Ценность ЛОВ проявляется более отчетливо и заключается в том, что его содержание в почве легко регулировать путем внесения различных органических удобрений, тем самым управляя гумусовым состоянием почвы в целом [10].

Процесс накопления и превращения органического вещества на рассматриваемых фоновых и техногенно нарушенных при угледобыче почвах оце-

нивался содержанием углерода общего ($C_{\text{общ}}$) и углерода лабильного органического вещества ($C_{\text{ЛОВ}}$), извлекаемого 0,1н NaOH.

Зональные черноземы, представленные подтипом черноземов обыкновенных, наиболее распространенных в районе исследования и являющихся эталоном для техногенных почв, характеризуются достаточно высоким содержанием органического углерода в биогенно-аккумулятивном горизонте (табл. 1).

Таблица 1

Содержание и запасы углерода в черноземе обыкновенном Кузнецкой котловины

Генетический горизонт	Глубина, см	Гумус, %	$C_{\text{общ}}$, %	$C_{\text{ш/р}}$, %	$C_{\text{ш/р}}$, % от $C_{\text{общ}}$	Запасы углерода в слое 0–20 см, т/га
A	0–10	11,48	6,66	1,16	17,4	206,7
A	13–23	10,79	6,26	1,16	17,5	
AB	27–37	3,67	2,13	0,76	35,7	
B1к	50–60	1,39	0,81	–	–	
B2к	85–95	1,05	0,31	–	–	
BCк	106–116	0,57	0,33	–	–	
Ск	130–140	Нет	Нет	–	–	

Этот горизонт морфологически хорошо выражен, имеет значительную мощность, что позволяет классифицировать исследуемый обыкновенный чернозем как среднемощный и среднегумусный. В соответствии с градациями, предложенными Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной [11], по запасам гумуса в слое 0–20 см исследованные фоновые почвы можно отнести к почвам, обладающим очень высокими запасами, что вполне сопоставимо с данными, полученными [12–14]. Профильное распределение гумуса – постепенно убывающее. $C_{\text{ЛОВ}}$ обнаружен только в трех верхних горизонтах, что, по всей вероятности, связано с тем, что в нижней части профиля происходит накопление гуматов кальция, которые очень плохо растворимы в воде при любых встречающихся в почве значениях pH [7]. Абсолютное содержание $C_{\text{ЛОВ}}$ с увеличением глубины почвенного профиля снижается. Однако если в 2 верхних горизонтах относительная доля $C_{\text{ЛОВ}}$ от $C_{\text{общ}}$ составляет 17,5%, то в горизонте АВ эта величина возрастает почти в два раза, что обусловлено меньшим его использованием корнями растений.

Таким образом, специфика черноземов Кузнецкой котловины заключается в том, что по свойствам и морфологическому строению они отличны от черноземов западной окраины и центральной части Западно-Сибирской низменности. Если для черноземов, формирующихся на этих территориях, отмечаются повсеместно встречающиеся признаки реликтовой солонцеватости и осолодения, то химический состав и внешний облик черноземов возвышенной и сильно расчлененной восточной окраины Западно-Сибирской низменности и Кузнецкой котловины свидетельствует о значительном

влиянии на их формирование некогда преобладающих здесь лесных биогеоценозов, сменявшихся в последующем луговыми степями [15]. Именно по этим причинам черноземы Кемеровской области характеризуются повышенным гумусонакоплением, несколько большей мощностью прокрашенных гумусом горизонтов, а также хорошей оструктуренностью. Формирование их шло на незасоленных лессовидных карбонатных суглинках или на флювиогляциально-озерного происхождения слоистых, но не соленосных отложениях. В целом черноземы лесостепной зоны Кузнецкой котловины отличаются не только высоким общим содержанием гумуса, но и углерода лабильного органического вещества (табл. 1), что позволяет отнести их к потенциально плодородным почвам.

Почвообразовательный процесс, протекающий на отвалах вскрышных пород, характеризуется значительной пространственной изменчивостью по различным показателям химического состояния почв, прежде всего по углероду (табл. 2), что объясняется пестротой состава вскрышных пород, сложностью макро- и микрорельефа и характером восстановления растительного покрова.

Т а б л и ц а 2

Содержание и запасы углерода в эмбриоземах

Глубина взятия образца, см	C _{общ} , %	C _{лов} , %	C _{лов} , % от C _{общ}	Запасы углерода в слое 0–20 см, т/га
Угольный разрез «Виноградовский»				
Эмбриозем инициальный (возраст 1 год)				
0–10	1,70	0,07	4,12	71,40
10–20	2,50	0,09	3,60	
20–30	9,50	0,08	0,84	
Эмбриозем дерновый (возраст 15 лет)				
0–10	5,50	0,87	15,80	175,10
10–20	4,80	0,78	16,30	
20–30	4,00	0,75	18,80	
Угольный разрез «Сартаки»				
Эмбриозем инициальный (возраст 3 года)				
0–10	1,18	0,17	14,50	20,06
Эмбриозем дерновый (возраст 9 лет)				
0–10	2,51	0,59	23,60	82,96
10–20	2,37	0,50	21,50	

Материал отвалов угольных разрезов в той или иной степени обогащен углеродистым материалом, причем вмещающие породы в большинстве случаев содержат больше углистых частиц. По петрографическому составу основные вмещающие породы и их техногенный элювий, являющиеся субстратом для поселения живых организмов и формирования почв в техногенных экосистемах, представлены, по данным [16], алевролитами, аргиллитами; вскрышные породы – бурыми некарбонатными глинами и лессовидными

суглинками. Как указывается в работе [17], все это создает предпосылки для проявления асинхронности биологических и почвообразовательных процессов, что, в конечном счете, предопределяет высокую изменчивость аккумуляции углерода в различных типах эмбриоземов.

Как известно, на начальных этапах почвообразования фитоценоз и микробоценоз развиты недостаточно, поэтому процессы гумификации в таких почвах развиты слабо. В связи с этим инициальные техноземы характеризуются отсутствием типодиагностического горизонта и их морфологический профиль представлен только горизонтом С, т.е. почвообразующей породой [4]. Данные эмбриоземы в связи с малой развитостью профиля характеризуются самой максимальной степенью каменистости (92,4–94,6%).

В эмбриоземе инициальном угольного разреза «Виноградовский» не отмечено закономерного снижения по профилю содержания общего углерода. Самая высокая величина $C_{\text{общ}}$ и самое низкое относительное содержание $C_{\text{ЛОВ}}$ от $C_{\text{общ}}$ обнаружены на глубине 20–30 см. Это объясняется тем, что данный эмбриозем в основном представлен хаотичным набором минеральной и углистой составляющих с незначительным содержанием почвенного мелкозема (5,4–7,6%).

Особенностью дерновой стадии почвообразования техногенных экосистем является резкое преобладание в минеральном профиле процессов аккумуляции остатков растительной биомассы над процессами их разложения и гумификации, что приводит к дифференциации профиля и появлению типодиагностического дернового горизонта [4], в котором накапливаются значительные количества органического вещества. С увеличением возраста эмбриоземов мощность органогенного горизонта увеличивается, при этом происходит и возрастание содержания общего углерода (см. табл. 2).

Так, в дерновом эмбриоземе (возраст 15 лет) этого же угольного разреза, по сравнению с инициальными, отмечено значительное возрастание общего углерода, а также закономерное снижение его величины по профилю, характерное для сформированной почвы. Можно полагать, что к этому возрасту в верхних горизонтах произошло накопление $C_{\text{общ}}$ за счет деструкции органического растительного материала. Наблюдается увеличение относительного содержания $C_{\text{ЛОВ}}$ от $C_{\text{общ}}$, приближающегося к таковому зональных почв. Аналогичная закономерность в содержании и распределении общего органического углерода и углерода лабильного органического вещества наблюдается и для эмбриоземов различного возраста угольного разреза «Сартаки (см. табл. 2).

Анализ данных свидетельствует о том, что в благоприятных биоклиматических и почвенно-экологических условиях Кузнецкой лесостепи процессы аккумуляции гумуса протекают достаточно интенсивно. И, тем не менее, более чем за 15 лет формирования и развития эмбриоземов запасы органического вещества не достигли уровня зональной почвы.

Для понимания закономерностей изменения состава органического вещества в нарушенных при угледобыче почвах совершенно не достаточно сведений о процессах накопления общего углерода и углерода лабильного

органического вещества. Необходимы исследования по определению качественного состава органического вещества, содержания в составе лабильных гумусовых веществ гуминовых кислот, их оптических характеристик, позволяющих установить степень сформированности гуминовых кислот.

Для оценки результатов эксперимента по восстановлению почв нарушенных экосистем определено содержание различных групп органических веществ не только зональной (фоновой) почвы – чернозема обыкновенного, но и различных типов эмбриоземов. В частности, было выявлено, что преобладающими группами в составе органического вещества черноземов обыкновенных являются легкоокисляемая (49%) и среднеокисляемая (33%) группы. Можно считать, что именно эти показатели характеризуют сформировавшуюся систему гумусовых веществ зональной почвы.

Содержание отдельных групп в составе органического вещества нарушенных при угледобыче почв в значительной степени зависит от возраста эмбриоземов. Выявлено, что во всех исследованных образцах инициальных эмбриоземов по содержанию углерода в легко- и трудноокисляемой группах органического вещества получены результаты, близкие к таковым зональных почв. И только на более поздних этапах развития техногенных почв (возраст 9, 15 лет) в дерновых эмбриоземах, по сравнению с фоновыми почвами, в 1,3 раза снижается содержание углерода в легкоокисляемой группе и в 1,8 раза возрастает в трудноокисляемой.

Сопоставление состава органического вещества зональной почвы и нарушенных в результате угледобычи почв свидетельствует о том, что среднеокисляемая группа органических веществ является наиболее стабильной, обеспечивающей устойчивое равновесное состояние почвы, а процессы трансформации органического вещества затрагивают легко- и трудноокисляемую группы. Это можно объяснить тем, что если в начальный период формирования техноземов продукты распада органического материала вовлекаются в процессы гумификации и образование лабильных гумусоподобных соединений, то в последующем усиливается гумификация органических соединений, входящих в группу трудноокисляемых. Подобные закономерности отмечены и в работе [18].

Для исследуемых образцов техноземов угольных разрезов определено содержание углерода гуминовых кислот в составе ЛОВ. Для их определения использовали пирофосфатную вытяжку ($0,1 \text{ M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O} + 0,1 \text{ n NaOH}$, при $\text{pH} = 13$), которая, в отличие от щелочной ($0,1 \text{ n NaOH}$), позволяет более полно извлекать ЛОВ и при определении в этой вытяжке гуминовых кислот не требуется предварительного их декальцинирования. Результаты эксперимента (табл. 3) свидетельствуют о том, что с увеличением возраста эмбриоземов происходит значительное увеличение содержания не только $\text{C}_{\text{ЛОВ}}$, но и углерода гуминовых кислот ($\text{C}_{\text{гк}}$) в составе лабильного органического вещества, что характерно для эмбриоземов обоих рассматриваемых угольных разрезов.

Таблица 3

Влияние возраста эмбриоземов на процесс накопления органического вещества и оптические свойства гуминовых кислот

$C_{\text{ЛОВ}}, \%$	$C_{\text{гк}} \text{ в ЛОВ}, \%$	$C_{\text{общ}}, \%$	$C_{\text{гк}} \text{ от } C_{\text{общ}}, \%$	$A = E_{465}/E_{650}$
Зональная почва				
2,750	1,567	6,66	23,5	2,34
Угольный разрез «Виноградовский»				
Эмбриозем инициальный (возраст 1 год)				
0,160	0,061	1,70	3,6	3,57
Эмбриозем дерновый (возраст 15 лет)				
2,122	1,277	5,50	23,2	2,86
Угольный разрез «Сартаки»				
Эмбриозем инициальный (возраст 3 года)				
0,147	0,073	1,18	6,27	4,06
Эмбриозем дерновый (возраст 9 лет)				
1,053	0,620	2,51	24,7	3,54

В соответствии с величинами коэффициента цветности (A), характеризующего степень конденсированности гуминовых кислот, можно сделать следующее заключение: более сложную структуру с более высокой степенью конденсированности имеют гуминовые кислоты зональной почвы (табл. 3). Для гуминовых кислот техноземов угольного разреза «Сартаки» самый высокий коэффициент цветности отмечен у гуминовых кислот инициального эмбриозема 3-летнего возраста, что указывает на более низкую степень их конденсированности и обогащенности ароматическими фрагментами. При увеличении возраста техноземов коэффициент A снижается, что свидетельствует о возрастании степени сформированности гуминовой кислоты благодаря накоплению и преобразованию с течением времени органического растительного материала, приводящих к образованию более сложных органических структур.

Для сравнительной характеристики гуминовых кислот рассматриваемых техногенных почв и определения степени их сформированности проведен анализ гуминовых кислот по электронным спектрам поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра (рис. 1, 2).

Электронные спектры поглощения гуминовых кислот, выделенных из всех рассматриваемых образцов, имеют сходный характер и представляют собой пологие кривые без видимых максимумов поглощения. В пределах ультрафиолетовой и видимой областей спектра оптическая плотность гуминовых кислот уменьшается в направлении от зональной фоновой почвы к дерновым эмбриоземам. Самая низкая оптическая плотность в измеряемой области спектра отмечена в инициальных эмбриоземах.

Можно сделать предположение о том, что в направлении от зональной почвы к эмбриоземам инициальным уменьшается вклад ароматических структур в построение молекул гуминовых кислот. Коэффициент цветности для рассматриваемых гуминовых кислот хорошо согласуется со спектрофотометрическими кривыми: чем выше располагается спектро-

фотометрическая кривая гуминовой кислоты, тем ниже коэффициент ее цветности.

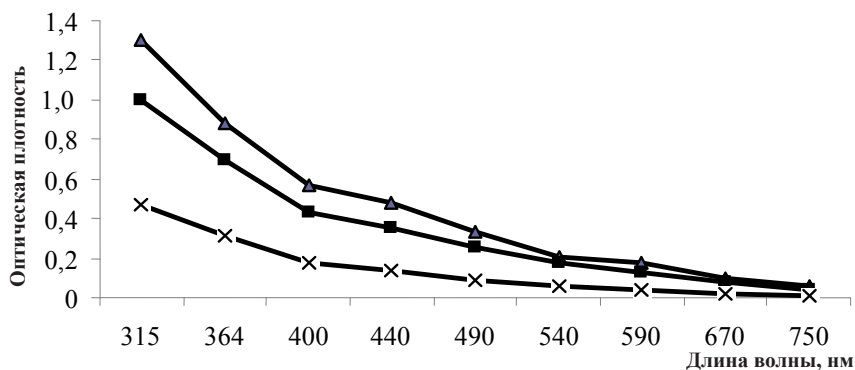


Рис. 1. Спектрометрические кривые гуминовых кислот эмбриоземов угольного разреза «Сартаки»: —▲— — фоновая почва; —■— — эмбриозем инициальный (возраст 3 года); —×— — эмбриозем дерновый (возраст 9 лет)

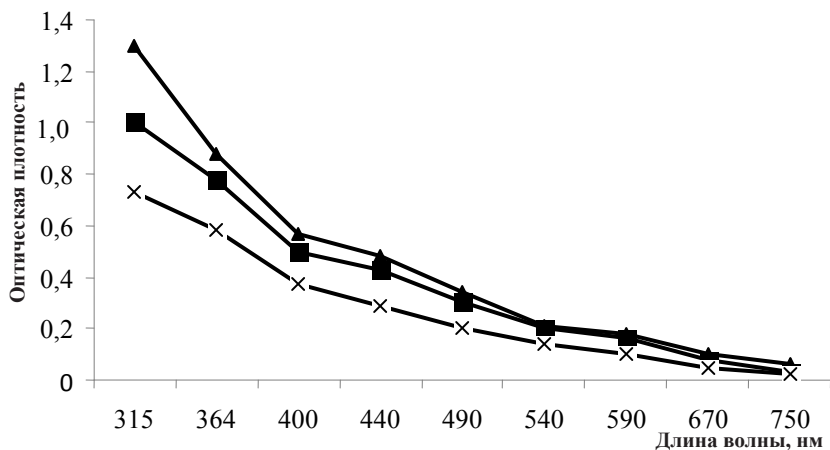


Рис. 2. Спектрометрические кривые гуминовых кислот эмбриоземов угольного разреза «Виноградовский»: —▲— — фоновая почва; —■— — эмбриозем инициальный (возраст 1 год); —×— — эмбриозем дерновый (возраст 15 лет)

Таким образом, по мере увеличения возраста эмбриоземов степень сформированности гуминовых кислот возрастает, о чем свидетельствуют более высокая их оптическая плотность в измеряемом интервале длин волн и более низкий коэффициент цветности в дерновых эмбриоземах (см. рис. 1, 2; табл. 3).

Почвообразовательный процесс протекает при участии ферментов, увеличивающих скорость биохимических реакций. Активность ферментов

можно широко использовать для биодиагностики и индикации почв: с ее помощью можно выявить особенности биохимических процессов почвообразования, оценить биологическую активность и плодородие почв. Исследованиями [19–20] установлено, что в процессе почвообразования в каждом типе почв создаются определенный уровень и соотношение активности ферментов, что определяет интенсивность и направленность почвенных биохимических процессов. Известно, что в техногенных ландшафтах накопление и трансформация органического вещества являются наиболее значимыми проявлениями инициального почвообразования, и эти процессы также протекают при участии ферментов, среди которых важное место принадлежит окислительно-восстановительным. В табл. 4 представлена активность оксидоредуктаз техногенных почв различного возраста рассматриваемых угольных разрезов.

Т а б л и ц а 4

Активность оксидоредуктаз в рассматриваемых эмбриоземах

Глубина взятия образцов, см	Каталаза, мл O ₂	Дегидрогеназа, мг ТТФ/10 г за сутки	Полифенолоксидаза, мг 1,4 – п – бензохинон / 10 г за 30 мин	Пероксидаза, мг 1,4 – п – бензохинона / 10 г за 30 мин
Угольный разрез «Виноградовский»				
Эмбриозём инициальный (возраст 1 год)				
0–10	3,15	0,00	0,45	5,51
10–20	1,85	0,16	0,33	7,99
20–30	1,25	0,12	0,00	5,28
Эмбриозем дерновый (возраст 15 лет)				
0–10	3,20	12,60	0,48	2,80
10–20	3,25	15,27	0,35	1,96
20–30	2,60	11,58	0,25	5,00
Угольный разрез «Сартаки»				
Эмбриозем инициальный (возраст 3 года)				
0–10	2,20	0,35	0,37	6,60
Эмбриозем дерновый (возраст 9 лет)				
0–10	2,15	33,11	0,17	2,30
10–20	1,70	24,62	0,00	2,07

Каталазная активность почв является показателем функциональной активности микрофлоры в различных экологических условиях. Как следует из табл. 4, эмбриоземы угольного разреза «Виноградовский», как инициальный, так и дерновый, в слое 0–10 см имеют близкие величины каталазной активности, однако в распределении этих величин имеются существенные различия. Так, если в дерновых эмбриоземах в профиле наблюдается постепенное уменьшение, то в инициальных эмбриоземах в нижерасположенных горизонтах (10–20 и 20–30 см) – достаточно резкое ее снижение в 1,7 и 2,5 раза соответственно. Эмбриоземы угольного разреза «Сартаки» в целом имеют более низкую каталазную активность по сравнению с эмбриоземами угольного разреза «Виноградовский», однако и в них

довольно отчетливо прослеживается общая тенденция – снижение каталазной активности в нижележащих горизонтах.

В соответствии со шкалой Д.Г. Звягинцева [21] оценки степени обогащенности почв некоторыми ферментами дегидрогеназная активность инициальных эмбриоземов находится на очень низком уровне. Это обусловлено тем, что основным источником ферментов, поступающих в почву, являются растительные остатки, а также ферменты эпифитной микрофлоры. Специфической особенностью инициального почвообразования является характерное для данной фазы присутствие незначительного по массе органического субстрата дегидрирования, преимущественно углеводов и органических кислот, что обуславливает заторможенность биохимических процессов, связанных с дегидрированием органического вещества. В последующие годы в процессе накопления растительных остатков и их трансформации произошло формирование пула ферментов и субстратов для них, что привело к значительному росту дегидрогеназной активности, что наблюдается в дерновых эмбриоземах. Высокий уровень дегидрогеназной активности сохраняется в дерновых эмбриоземах 9- и 15-летнего возраста.

Фермент полифенолоксидаза в настоящее время является объектом особого внимания исследователей в связи с тем, что его роль в процессах гумификации органического вещества в почве несомненна [21]. Максимальная величина активности полифенолоксидазы отмечается в верхнем 10-сантиметровом слое всех рассматриваемых эмбриоземов с резким снижением в нижележащих горизонтах. В рассматриваемых эмбриоземах угольного разреза «Сартаки» полифенолоксидазная активность оказалась ниже, чем в случае эмбриоземов Виноградовского угольного разреза. В динамике пероксидазной активности в зависимости от возраста эмбриоземов наблюдаются следующие закономерности: наиболее высокая ее активность характерна для техногенных почв, находящихся на инициальной стадии формирования; по мере увеличения возраста эмбриоземов пероксидазная активность снижается.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены определенные закономерности изменения ферментативной активности разновозрастных эмбриоземов. Отчетливо прослеживаются увеличение ферментативной активности в направлении от инициальных эмбриоземов к дерновым и накопление значительного содержания органического углерода и углерода лабильного органического вещества, которое относительно легко поддается минерализации. Однако характер трансформации органических веществ и выраженность гумусово-аккумулятивных процессов даже на поздних стадиях развития техноземов отличаются от таковых зональных почв, хотя к этому возрасту исследуемые эмбриоземы по содержанию некоторых ферментов и лабильного углерода приближаются к фоновым почвам.

Выводы

На ранних этапах развития эмбриоземов содержание общего углерода и углерода лабильного органического вещества определяется главным образом литогенными свойствами пород, слагающих угольные отвалы техногенных ландшафтов.

Установлено, что в условиях лесостепной зоны Кузнецкой котловины по мере увеличения возраста эмбриоземов возрастает содержание общего углерода, углерода лабильного органического вещества, а также углерода гуминовых кислот.

Исследование оптических свойств гуминовых кислот показало, что в ходе эволюции эмбриоземов в направлении от инициальных эмбриоземов к дерновым, благодаря накоплению и преобразованию растительного материала, возрастает степень их сформированности, усиливается их биохимическая активность, т.е. нарушенная в процессе угледобычи почва стремится к самовосстановлению.

Результаты динамики накопления и превращения органического вещества в изученных эмбриоземах могут быть использованы как показатели эффективности рекультивации техногенно нарушенных почв.

Литература

1. Глебова О.И. Биогеографические исследования сингенетичности почв и растительности техногенных ландшафтов // Природа и экономика Кузбасса. 2004. Вып. 9, т. 2. С. 2–9.
2. Почвообразование в антропогенных условиях. Свердловск : Изд-во Урал. гос. ун-та, 1981. 143 с.
3. Герасимова М.И., Можарова Н.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск : Ойкумена, 2003. 268 с.
4. Андроханов Е.Д., Куляпина В.М., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
5. ГОСТ 26213-91 «Почва. Методы определения органического вещества». С. 1–6.
6. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы трансформации. Л. : Наука, 1980. 510 с.
7. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М. : Изд-во МГУ, 1981. 271 с.
8. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М. : Наука, 1976. 179 с.
9. Орлов Д.С. Органическое вещество почвы и органические удобрения. М. : Изд-во МГУ, 1985. 98 с.
10. Мамонтов В.Г., Афанасьев Р.А. К вопросу о лабильном органическом веществе почв // Плодородие. 2008. № 2. С. 20–22.
11. Орлов Д.С. Химия почв : учеб. М. : Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
12. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Новосибирск : Наука, 1975. 299 с.
13. Клёнов Б.М. Гумус почв Западной Сибири. М. : Наука, 1981. 142 с.
14. Середина В.П., Андроханов В.А., Алексеенко Т.П. и др. Экологические аспекты биологической рекультивации техногенных экосистем Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 2(3). С. 61–71.

15. *Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири* / АН СССР: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. М. : Наука, 1968. 382 с.
16. *Попов В.М., Рагим-Заде Ф.К., Трофимов С.С.* Классификация вскрышных пород Кузбасса по пригодности для биологической рекультивации // *Рекультивация в Сибири и на Урале*. Новосибирск : Наука, 1970. С. 25–41.
17. *Андроханов Е.Д., Курачев В.М.* Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
18. *Ермаков Е.И., Аникина Л.М., Орлова Н.Е.* Накопление и трансформация органического вещества в корнеобитаемых средах // *Вестник Российской Академии сельскохозяйственных наук*. 1996. № 1. С. 45–48.
19. *Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М. : Наука, 1982. 202 с.
20. *Евдокимова Г.П., Калмыкова В.В.* Биологическая активность рекультивированных промышленных отвалов в условиях северной тайги // *Агрохимия*. 2008. № 1. С. 63–67.
21. *Щербакова Т.А.* Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск : Наука и техника, 1983. 222 с.

Поступила в редакцию 27.05.2011 г.

Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 1 (17). P. 18–31

doi: 10.17223/19988591/17/2

**Valentina P. Seredina¹, Tatyana P. Alekseeva², Lidiya N. Sysoeva²,
Nina M. Trunova², Tatyana I. Burmistrova²**

¹*Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

²*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat of the Russian Academy
of Agricultural Sciences, Tomsk, Russia*

ORGANIC MATTER FORMATION PROCESSES RESEARCH IN LANDS DAMAGED AFTER MINING OPERATION

Organic matter, first of all humic acids serve different function, that first of all regulate resistant functioning of soils and biosphere ecosystems. When making biological recultivation of anthropogenic soils, it is necessary to know the features of transformation of soil organic matter, that emerge in specific soil and lithological conditions. In this paper the results of background and anthropogenic soils of Kuzbass's organic matter research are presented.

Zonal chernozems of Kuznetsk Basin's forest-steppe zone differ not only by higher humus content, but also by content of labile organic matters carbon. These features allowed to attribute these soils to potentially rich rocks. Soil-building process, that progress at the overburden monton is characterized by great space variability according to different indicators of chemical state of soils. First of all, this process is characterized by carbon. This is explained by different contents of over burdens, complication of macro- and microrelief and the manner of revegetation.

It was revealed, that the content of total carbon and labile carbon of organic matter in initial embriozeme is determined by lithogenical rock's features composing coal dump of anthropogenic landscape. It was ascertained in the condition of the Kuznetsk kettle's forest-steppe zone, when the age of embriozeme increases, the contents of total carbon, labile carbon of organic matter and carbon of humic acids increases as well. The research of humic acid's optical properties showed that in the course of evolution

of anthropogenic soil from initial embriozeme to sod the extent of generating increases due to accumulation and transformation of vegetable staff.

In the result of the research the alteration regularities of different age embriozems enzyme activities were established. The increase in enzymes activity from initial embriozeme to turfu embriozeme and accumulation of organic carbon and carbon of labile organic matter were distinctly traced. Thus, while the age of embriozemes is increasing, its biological activity is distinctly traced, that is soils damaged after mining operation tend to self-repair. The nature of organic matter transformation and the intensity of humus-accumulative processes, even on the last stage of anthropogenic soil development is different from such zonal soils. Though turfy embriozemes become closer to background soils, according to the contents of some ferments and labile carbon. The results of researching the dynamics of accumulation and transformation of organic matter in the examined soils can be used as a factor of efficiency for recultivating anthropogenic-disturbing soils.

Key words: background soils; Kuznetsk Basin; coal mining; embriozeme; organic carbon; recultivation.

Received May 27, 2011