

УДК 621.001.25

Шеманнєв В.И., Забалуєв В.А., Бабєнко М.Г.,
Тарика А.Г., Зануда В.В., Горячковский С.В.

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Досліджено динаміку й тенденції антропо-техногенної еволюції гірських порід при їхньому біологічному освоєнні. Установлено, що вже через 20 років сільськогосподарського використання профіль штучних едафотопів з гірських порід диференціюється на біогеогоризонти, які є прообразами генетичних горизонтів зонального ґрунту.

CONDITIONS OF STABLE FUNCTIONING OF TECHNOGENIC ECOSYSTEMS AT RECOLTIVATION OF DISTURBED LANDS

The dynamics and tendencies in man-caused evolution of mining overburden during biological/agricultural usage described in the article. It was founded that after 20 years of use in agriculture the profile of artificial edaphotops created with mining overburden is differentiating to biological horizons. These horizons can be considered as prototype of genetic horizons of zonal soils.

Проблема восстановления территорий, затронутых открытыми разработками полезных ископаемых, присуща практически всем промышленно развитым странам. По определению Н.Т. Масюка, рекультивация нарушенных земель на современном этапе развития человечества становится значительной экологической и мультидисциплинарной проблемой, которая развивается на стыке биологических, геологических, горнотехнических и социально-экономических наук [1]. Наличие объективной количественной исходной (в начале биологического освоения) и текущей информации о эдафических характеристиках искусственных эдафотопов при сельскохозяйственном освоении позволяет установить тенденции их антропо-техногенной эволюции.

Благоприятные физические свойства полидисперсных горных пород (скважность, водо- и воздухопроницаемость, влагоемкость и др). обуславливают возможность возникновения и формирования на их поверхности растительного покрова. При поселении растительности наблюдается взаимовлияние процессов выветривания и почвообразование, которое, служит причиной аккумуляции биофильных химических элементов в верхних слоях, создает условия для гумусообразования и, следовательно, преобразование через определенный промежуток времени горных пород в почву.

Искусственные эдафотопы, которые формируются из потенциально-плодородных горных пород при вскрытии, перемещении, намывке, отсыпке, обваловании и других горнотехнических процессах, получили название «литоземы». Они имеют разнокачественный состав и свойства, разную устойчивость к выветриванию, разную степень токсичности. В процессе биологического освоения литоземы эволюционируют в зависимости от биоклиматических, геоморфологических, гидрологических и гидрогеологических условий территории, а также от способа восстановления (самозарастание или направленная биологическая рекультивация) и от способа использова-

ния (сельскохозяйственное, лесохозяйственное, рекреационное, водохозяйственное и др.).

Одним из центральных вопросов рекультивации нарушенных земель является исследование процесса почвообразования. Благодаря широкомасштабным карьерным горным разработкам стало возможным исследовать начальные процессы почвообразования, эволюции материнских горных пород в почв. Согласно докучаевской модели педогенез начинается с момента контакта и взаимодействия почвообразующих факторов, из функционирования эдафической системы *in situ* в матрице материнской породы. Суть функционирования состоит в протекании разнообразных микропроцессов [2], обмена веществом и энергией между субстратом и внешней средой внутри экосистемы, частью которой есть эдафотоп. Циклическое возобновление биоты при продолжительном функционировании приводит к необратимым или частично необратимым процессам, которые обуславливают микроэффекты, изменение вещественного состава и структурной организации твердой фазы субстрата. Продолжительное накопление таких изменений приводит к развитию ЭПП [3], что постепенно превращает горную материнскую породу в почвоподобное тело дифференциацией на генетические горизонты.

В.А. Таргульян и др. сформулировали универсальную суть педогенеза, которая положена в основу моделей развития почв. Они указывают на обязательную последовательность таких этапов: контакт, взаимное проникновение и взаимодействие факторов почвообразования; функционирование биокосной инситу системы, развитие микропроцессов в толще субстрата и выделение в нем зоны потенциального педогенеза; развитие в зоне педогенеза ЭПП – образование и накопление профиле- и почвообразовательных признаков и свойств почвы; дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты как результат продолжительного функционирования системы и действия ЭПП по всей зоне педогенеза; формирование и существование зрелого почвенного профиля, который функционирует в зрелой экосистеме [4].

Педогенез, как и большинство экзогенных и биокосных процессов, в отличие от биологических процессов, генетически не запрограммированный и не имеет специфического аппарата наследственности. На него влияет характер и продолжительность взаимодействия лабильных и динамических факторов (климат, биота, антропогенез), а также более консервативные факторы-матрицы (материнские горные породы, рельеф местности).

Некоторые материнские горные породы имеют свойства, которые обеспечивают плодородие из момента своего экспонирования как породы на дневной поверхности. Изменения в твердой фазе, постепенно накапливаясь, существенным образом изменяют ее состав, организацию и свойства. Все это является результатом продолжительного функционирования системы в целом. В идеальной модели такого процесса толща субстрата, однородная и изотропная в нуль-момент за составом и свойствами, превращается в вертикально-анизотропное, расчлененное на горизонты почвенное тело как результат продолжительного функционирования подземного яруса биокосной системы.

Техногенные почвы на ранних стадиях развития благодаря интенсивности ряда ЭПП относительно быстро накапливают признаки и свойства, которое свидетельствуют о направлении почвообразовательного процесса по зональному типу. Об этом свидетельствует вещественный состав, уровень биогенной аккумуляции углерода и азота [5-10].

Начальный уровень плодородия литоземов низкий, однако он повышается в результате активного и целенаправленного вмешательства человека благодаря применению комплекса агротехнических, агрохимических и фитомелиоративных мероприятий.

На научно-исследовательском стационаре Днепропетровского агроуниверситета в Никопольском марганцево-рудном бассейне (южная степь Украины) нами изучалось формирование морфологических признаков и профильного плодородия в трех искусственных эдафотопах: лессовидных суглинках, серо-зеленых мергелистых глинах и красно-бурых глинах, которые на протяжении двадцати лет находились в сельскохозяйственном использовании. Образцы литоземов были отобраны на глубину до 1 м (через 10 см) и помещены в вегетационные сосуды. Уровень плодородия определяли по продуктивности вегетативной массы тест-растений – *Hordeum sativum* Jessen и *Pisum sativum* L. Данные сравнивали с информацией, полученной на упомянутых субстратах из горных пород, отобранных из борта карьера, а также с пахотным слоем чернозема южного.

По результатам исследований сделанные такие выводы.

1. За 20 лет интенсивного фитомелиоративного влияния сельскохозяйственных растений (преимущественно многолетних бобовых трав и бобово-злаковых травосмесей) в первичных эдафотопах сформировалось четыре биогеогоризонта (БГГ), которые выделены по продуктивности *Hordeum sativum* Jessen и *Pisum sativum* L.

БГГ₁ (слой 0-20 см) отличается высокой продуктивностью исследуемых растений – в 2,7-3,2 (*Hordeum sativum* Jessen) и 2,6-2,7 (*Pisum sativum* L.) раза выше, чем на отобранных из борта карьера образцах этих же пород, которые к началу опытов не подвергались воздействию современных биотических факторов. Эффективное плодородие (сравнение с пахотным слоем зональной почвы) этого БГГ, выраженная продуктивностью тест-растений, составила 54-62% (*Hordeum sativum* Jessen) и 71-84% (*Pisum sativum* L.) от уровня зональной почвы.

БГГ₂ (слой 20-40 см в лессовидных суглинках и 20-50 см в серо-зеленых мергелистых и в красно-бурых глинах) характеризовался меньшими показателями продуктивности: уровень эффективного плодородия в БГГ₂ достигал 36-47% (*Hordeum sativum* Jessen) и 51-76% (*Pisum sativum* L.).

В **БГГ₃** (слой 40-70 см в лессовидных суглинках и 50-80 см в серо-зеленых мергелистых и красно-бурых глинах) продуктивность ярового ячменя на исследуемых субстратах была еще ниже, однако в 1,1-1,5 раза превышала показатели, полученные на свежих горных породах. Эффективное плодородие БГГ₃ составила 22-31% по *Hordeum sativum* Jessen и 38-50% – по *Pisum sativum* L.

В БГГ₄ (слой 70-100 см в лессовидных суглинках и 80-100 см в серо-зеленых мергелистых и в красно-бурых глинах) продуктивность тест-растений была почти такой же, как и на свежих горных породах с борта карьера.

2. Полученные данные, а также результаты предшествующих исследований [7] позволяют сделать вывод о том, что по величине эффективного плодородия БГГ₁ приравнивается к плодородию первого переходного горизонта чернозема южного, БГГ₂ – к плодородию смеси из массы гумусо-аккумулятивного и первого переходного генетических горизонтов; плодородие БГГ₃ – к почвенной массе второго переходного горизонта; плодородие БГГ₄ – к почвообразующей породе.

Таким образом, не считаясь с разнокачественностью состава и свойств горных пород, почвообразовательный процесс в них идет по зональному типу. Исходя из генетической модели чернозема, можно прогнозировать, что БГГ₁ – это прообраз гумусового горизонта (А); БГГ₂ в будущем трансформируется в первый переходный горизонт (В₁), а БГГ₃ – во второй переходный горизонт (В₂).

3. Первичный уровень плодородия исследуемых эдафотопов был одинаковым, а уже через 20 лет их толща четко дифференцировалась на биогеогоризонты, что свидетельствует о высоком потенциальном плодородии испытанных горных пород и об исключительно важной преобразующей роли многолетних бобовых трав.

Таким образом, исследования показали, что выделенные биогеогоризонты, еще не приобрели морфологических признаков, состава и свойств соответствующих генетических горизонтов зональной почвы, однако уже имеют почти одинаковое с ними эффективное плодородие.

Начальные процессы гумусо- и почвообразования в литоземах

Содержание органического вещества почвы имеет важное значение из-за его чрезвычайной роли в большинстве экологических функций, которые обеспечивает почва как компонент экосистемы. Известно, что гумус является колоссальным биологическим аккумулятором солнечной энергии и депонентом биофильных элементов. Поэтому процессы, которые обуславливают накопление и трансформацию органического вещества в литоземах, связаны со становлением молодых почв как природно-исторических тел. Кроме того, исследование количества и качества гумуса разрешает прогнозировать ход и интенсивность почвообразования.

Имея фактические показатели ежегодной продуктивности сельскохозяйственных культур за 32-летний период сельскохозяйственного освоения литоземов (данные за 1971-1980 гг. приводятся с [11, 12]) представленных технической смесью красно-бурых глин и суглинков и серо-зелеными мергелистыми глинами, используя нормативные показатели выхода побочной продукции, коэффициенты гумификации и минерализации растительных остатков в почве [13], есть возможность определить изменения энергетического потенциала искусственных эдафотопов за определенный период их биологического освоения.

В многолетних полевых опытах на протяжении 1971-2002 гг. на литоземах по одинаковой методике изучались разные варианты чередования сельскохозяйственных культур во времени. Учитывали количество фитомассы, которая поступает в эдафо-

топ и становится основным источником пополнения органического вещества. Наиболее характерными с точки зрения продуктивности надземной и подземной фитомасс, на наш взгляд, являются варианты с таким чередованием культур:

- вариант 1: люцерна посевная 4 года – яровой ячмень – эспарцет песчаный 5 лет – яровой ячмень – бобово-злаковая травосмесь 9 лет – чистый пар – озимая пшеница – бобово-злаковая травосмесь 10 лет;
- вариант 2: люцерна посевная 4 года – чистый пар – яровой ячмень – яровой ячмень – чистый пар – озимая пшеница – яровой ячмень – чистый пар – озимая пшеница – яровой ячмень – кукуруза – горох – яровой ячмень – горох – яровой ячмень – горох – яровой ячмень – чистый пар – озимая пшеница – озимая пшеница – бобово-злаковая травосмесь 9 лет.

То есть, в варианте 1 за 32-летний период многолетние бобовые и бобово-злаковые агроценозы выращивались на протяжении 28 лет, что составляет 87,5 %, еще 3 года (9,4 %) выращивали однолетние зерновые культуры, один год литоземы были под чистым паром.

В варианте 2 соотношение культурфитоценозов было таким: многолетние бобовые травы и бобово-злаковые травосмеси – 13 лет (40,6%), однолетние зерновые и зернобобовые культуры – 15 лет (46,8%), чистый пар – 4 года (12,6 %). То есть, существенной разностью между вариантами есть насыщение многолетними агрофитоценозами, которые имеют намного больший фитомелиоративный эффект по сравнению с однолетними агроценозами, в частности зерновыми культурами.

На серо-зеленых мергелистых глинах за период исследований общая продуктивность агрофитоценозов составила 247,3 (вариант 1) и 207,2 (вариант 2) т/га фитомассы, из которой на подземную часть пришлось соответственно 155,8 т/га (62,8 % от общего количества) и 105,3 т/га, что составляет 50,8% от общей фитомассы. С подземной фитомассой в эдафотоп поступило 2794 (вариант 1) и 1895 (вариант 2) ГДж/га энергии, то есть, в среднем ежегодно поступало соответственно 87,3 и 59,2 ГДж/га. Именно эта энергия аккумулируется в органических соединениях гумуса и служит основой для гумусообразования в литоземах.

Таким образом, за 32-годовой период сельскохозяйственного освоения в зависимости от характеристик культурфитоценозов (однолетние – многолетние; бобовые – злаковые) и их чередования, в эдафотопы, поступила разное количество растительных остатков, что повлияло на биоэнергетические показатели гумусообразования. Так, содержимое энергии в органических компонентах серо-зеленых мергелистых глин увеличилось с 88 ГДж/га в начале биологического освоения до 536 (вариант 1) и 477 (вариант 2) через 32 года, то есть увеличилась в 5,4-6,1 раза. Следует отметить достаточно высокие показатели среднегодовой аккумуляции энергии органическими компонентами (12,1-14,0 ГДж/га) и коэффициент аккумуляции энергии (0,16-0,20). Такие показатели отвечают уровню ненарушенных черноземов [13].

На смеси красно-бурых глин и суглинков общая продуктивность культурфитоценозов за весь период исследований составила 250,0 (вариант 1) и 186,2 (вариант 2).

На подземную часть пришлось 168,7 т/га, что составляет 67,5 % от общего количества фитомассы (вариант 1), и 100,0 т/га (53,7 %) – в варианте 2.

Сравнивая биоэнергетические показатели гумусообразования при освоении двух различных литоземов, следует отметить, что общая продуктивность фитомассы агроценозов в варианте 1 (с насыщением многолетними бобовыми и бобово-злаковыми агрофитоценозами) за 32-летний период была приблизительно одинаковой – разность составила лишь 2,7 т/га в пользу эдафотоп из смеси красно-бурых глин и суглинков. Однако количество фитомассы, которая поступила в литоземы, была большей на смеси красно-бурых глин и суглинков на 13,4 т/га, что свидетельствует о несколько худших эдафических условиях этого эдафотоп. Однако, не смотря на большее количество энергии, которое поступила в красно-бурые глины и суглинки с фитомассой (на 243 ГДж/га), а также большее первичное содержимое энергии (на 36 ГДж/га), оказалось, что через 32 года в органических компонентах аккумуляровано энергии лишь 302 ГДж/га, что на 146 ГДж/га меньше, чем в серо-зеленых мергелистых глинах. Поэтому и коэффициент аккумуляции энергии с растительных остатков в гумус здесь значительно меньший – лишь 0,10.

В варианте 2 на смеси красно-бурых глин и суглинков формировалось на 21,0 т/га общей фитомассы меньше, чем в аналогичном варианте на серо-зеленых мергелистых глинах. На 5,3 т/га было меньше и количество фитомассы, которая поступила в эдафотоп с корневыми и стерневыми остатками. В этом варианте зарегистрированы наиболее низкие показатели содержания энергии в органических компонентах эдафотоп, а также количество аккумулярованной энергии за весь период наблюдений. Однако коэффициент аккумуляции энергии здесь составил 0,15, что больше, чем в варианте 1 на смеси красно-бурых глин и суглинков.

Таким образом, процессы образования, накопление и трансформации (включая гумификацию) органического вещества в горных породах при сельскохозяйственном использовании на первых этапах проходят сравнительно быстрыми темпами, не смотря на гетерогенность их вещественного состава и некоторые факторы, которые ограничивают вегетацию растений.

Установлено, что на менее плодородном субстрате растения формируют большую массу корней, тем самым обеспечивая эдафотоп большим количеством фитомассы, а поэтому и энергетического материала для гумусообразования. Однако за такой короткий период педогенеза в горных породах еще не произошло дифференцирование их толщи на генетические горизонты, а содержание энергии в органических компонентах еще существенно ниже, чем в зональных почвах.

Полученные данные свидетельствуют, что темпы аккумуляции энергии в органических компонентах (ежегодно 8,2- 9,4 ГДж/га на красно-бурых глинах и суглинках и 12,1-14,0 ГДж/га на серо-зеленых мергелистых глинах) отвечают показателям, которые приводятся для зональных почв – 8,3-41,6 ГДж/га [13]. Это подтверждается и данными анализов об изменениях содержимого гумуса в литоземах за период их сельскохозяйственного освоения. В полевых условиях его количество увеличилось: у лессовидных суглинков – с 0,34 до 1,11 % (слой 0-10 см) и 0,98 % (слой 10-20 см); в

смеси красно-бурых глин и суглинков – соответственно с 0,20 % до 0,95 и 0,84 %; в серо-зеленых мергелистых глин – с 0,18 % до 1,14 и 1,02 %. То есть, ежегодные темпы накопления гумуса составили (для верхнего 10 см слоя эдафотоп): в лессовидных суглинков – 0,031%; в смеси красно-бурых глин и суглинков – 0,030 %; в серо-зеленых мергелистых глин – 0,038 %.

Таблица – Биоэнергетические показатели гумусообразования при сельскохозяйственном освоении литоземов (полевой многолетний опыт, 1971-2002 гг.)

Показатели	Смесь красно-бурых глин и суглинков		Серо-зеленые мергелистые глины	
	Варианты			
	1	2	1	2
Общая продуктивность фитомассы за 32-летний период, т/га	250,0	186,2	247,3	207,2
Количество фитомассы, которая поступила в эдафотоп с биомассой корневых и пожнивных остатков, т/га	168,7 (67,5%)	100,0 (53,7%)	155,3 (62,8%)	105,3 (50,8%)
Поступило энергии в эдафотоп с фитомассой, ГДж/га	3037	1801	2794	1895
Содержание энергии в органических компонентах эдафотопов (слой 0-20 см), ГДж/га:				
в начале биологического освоения	122	122	88	88
через 32 года	424	385	536	477
Аккумулировано энергии в органических компонентах эдафотопов, ГДж/га:				
за весь период сельскохозяйственного освоения	302	263	448	389
в среднем за год	9,4	8,2	14,0	12,1
Коэффициент аккумуляции энергии	0,10	0,15	0,16	0,20

Таким образом, в процессе сельскохозяйственного освоения и использования горных пород в качестве искусственных эдафотопов в органических компонентах аккумулируется определенное количество энергии, которое определяет уровень их плодородия и устойчивость как компонента агроэкосистемы. В молодых почвах на рекультивированных землях уже на ранних стадиях развития формируются морфологические, физико-химические и другие свойства, которые характерны для основных типов зональных почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масюк Н.Т. Рекультивация земель в Украине: фундаментальные и прикладные достижения // Вісник аграрної науки. –1998. –Спеціальний випуск, січень. –С. 15-21.
2. Етеревская Л.В., Угарова В.А. Процессы почвообразования в техногенных ландшафтах степи УССР // Почвообразование в техногенных ландшафтах. –Новосибирск: Наука,1979. –С. 140-156.
3. Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. –М.: Географгиз, 1947. – 149 с.
4. Герасимов И.П. Абсолютный и относительный возраст почв // Почвоведение. – 1976. – №5. –С. 27-32.
5. Проблема эволюции почв в докучаевском почвоведении / Таргульян В.О., Козловский Ф.И., Караваева Н.А., Александровский А.Л. // 100 лет генетического почвоведения. –М.: Наука, 1986. –С. 104-117.
6. Таргульян В.О. Специфика почвы как поверхностно-планетарной оболочки биосферной планеты // Экология и почвы: Избранные лекции VIII – IX Всероссийских школ (1998-1999 гг.). –М.: ПОЛТЕКС, 1999. –Т. III. –С. 9-23.
7. Масюк Н.Т. Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных по-

- родах в местах производственной добычи полезных ископаемых // Рекультивация земель: к X Междунар. конгрессу почвоведов: Тр. ДСХИ. –Днепропетровск. –1971. –Т. 26. –С. 62-106.
8. Крупский Н.К., Етеревская Л.В., Мамонтова Е.Г. О направлении почвообразования на рекультивированных землях в степной зоне Украины // Разработка способов рекультивации ландшафтов, нарушенных промышленной деятельностью. –Бургас; София. –1973.
 9. Польшов Б.Б. Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах // Почвоведение. –1945. –№.7
 10. Возделывание бобовых культур на опытных рекультивированных участках, заложенных на горных породах / Бекаревич Н.Е, Горобец Н.Д., Кабаненко В.П., Масюк Н.Т., Сидорович Л.П., Скороход Г.С., Узбек И.Х. // Рекультивация земель: Тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1974. –Т. 26. – С. 139-168.
 11. Масюк Н.Т. Эколого-биологические основы сельскохозяйственной рекультивации в техногенных ландшафтах степной зоны Украины (на примере Никопольского марганцеворудного бассейна): Автореф. дисс... д-ра биол. наук. – Днепропетровск. – ДГУ. – 1981. – 53 с.
 12. Тараріко О.Г., Лобас М.Г. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства. –Київ, 1998. –158 с.
 13. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение и охрана. –М.: Наука, 1981. –181 с.

УДК 621.001.25

Шемавньов В.І., Забалуєв В.О., Кулініч В.В.,
Зануда В.В., Кулініч Віт.В.

ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ ТЕХНОГЕНЕЗУ – СХОВИЩА ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ: ЇХ БІОКОНСЕРВАЦІЯ ТА МОЖЛИВОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ

Показано, що покриття поверхні шламсховища шаром ґрунтової маси або потенційної-родючої гірської породи не тільки істотно поліпшує екологічне становище прилеглих територій, але й дозволяє створювати сільськогосподарські вгіддя.

ECOLOGICALLY HAZARDOUS OBJECTS OF A TECHNOGENES – STOREHOUSES OF WASTE PRODUCTS OF ENRICHMENT OF IRON ORE: THEIR BIOPRESERVATION AND OPPORTUNITIES OF AGRICULTURAL USE

Long-term researches prove the possibility of usage of the worked-out sludge traps used in past in iron ore enriching processes.

1. Актуальність проблеми. У Криворізькому залізорудному басейні п'ять гірничо-збагачувальних комбінатів здійснюють видобуток і переробку залізної руди, що привело до відчуження із господарського використання більш 34 тис. га угідь – це відвали гірських порід, кар'єри, зони підробки шахтних полів, шламсховища (сховища відходів переробки залізної руди), промислові площадки та ін. об'єкти техногенезу. З перерахованих видів порушень землі рекультивація і господарське освоєння кар'єрів – складна для вирішення проблема в зв'язку з їхньою великою глибиною (до 300-350 м) і тривалим терміном експлуатації. На даний час більшість глибоких залізорудних кар'єрів є діючими, тому у найближчій перспективі не йде мова про їх технічну та біологічну рекультивацію, як і про рекультивацію зовнішніх відвалів, складених скельними породами, а також про господарське використання значних площ – зон підробки шахтних полів. Це ще мало вивчені проблеми, найближчим часом не мають перспектив оптимального вирішення для господарського використання, однак потребують заходів з їх екологічної оптимізації та біоконсервації.