

## 2.5. Мікробоценози природних та техноагроекосистем

І.Б. Зленко

Сучасні агроєкосистеми повністю залежать від діяльності людини; агроєкосистеми без управління як такі не будуть продовжувати існування. З цієї причини їх часто називають штучними на протигагу природним системам, які не потребують управління людиною. Термін «агроєкосистеми» є результатом концентрацій екосистеми до районів ведення сільського господарства. Всі екосистеми на нашій планеті є більш-менш сформованими, надзвичайно відкритими та з них експортується первинна та вторинна продукція. В дійсності більшістю наших так званих природних систем – лісами, річками, озерами – управляють, так що відмінність між природними та штучними системами сьогодні не є достатньо чіткою (*Сельскохозяйственные экосистемы...*, 1987).

У визначення «агроєкосистеми» часто включають витрати енергетичних та матеріальних ресурсів, насіння та агрохімікатів, а також соціально-політичні та економічні умови, на яких побудовано затвердження відповідних рішень щодо управління цією системою.

Степова зона України багата не тільки родючими ґрунтами, її надра являють собою цінні поклади корисних копалин. Україна займає лише 0,4% світової площі суші, але тут видобувається, переробляється і залучається у виробництво приблизно 5% світового видобутку корисних копалин (*Трегобчук, 1997*). Це зумовило формування потужного гірничодобувного комплексу з притаманними йому екологічними проблемами техногенно-деструктивних територій. За відкритого способу видобутку корисних копалин відбувається техногенне перетворення ландшафту, повне знищення ґрунтового і рослинного покриву, змінюється екологічна ситуація території: оновлюється кора вивітрян-

ня, формується специфічний техногенний ландшафт зі специфічними гідрологічним і гідрогеологічним режимами. У біологічний кругообіг залучаються не властиві сучасному геохімічному стану потоки речовин, часто токсичні елементи і сполуки. Тобто у різноманітті відомих сучасних способів антропогенної деградації екосистем гірничодобувні роботи мають найбільш негативні і масштабні наслідки.

Тому однією з найважливіших проблем сучасної науки є рекультивація земель, в якій вивчення особливостей формування біогеоценозів в умовах техногенних ландшафтів займає центральне місце, оскільки є джерелом виникнення у товщі екоотопів консортивних зв'язків, які є основою для виникнення родючості, тобто основою для виникнення та прохолодження нового ґрунтоутворюючого процесу (*Масюк, 1974, 1975, 1981, 1987, 1989, 1998; Забалуев, 1984* и др.).

При виникненні техногенних ландшафтів на поверхню потрапляють глибинні породи, що не мають нічого спільного із зональними ґрунтами. На місці видобутку та різноманітних відвалах утворюються техногенні пустелі – «місячний ландшафт», формуються нові геохімічні провінції (*Етеревская и др., 1981; Засорина, 1985* и др.).

Академік В.І. Вернадський розглядав вплив мікроорганізмів на ґрунти з позицій загальних геохімічних законів. За його ствердженням, жива речовина, у тому числі і мікроорганізми ґрунтів, створює дрібноземність, пухкість, впливає на фізичні властивості та структуру, призводить до міграції хімічних елементів та обумовлює багато інших змін властивостей ґрунтів (*Вернадский, 1980*).

Поступово відвали різного походження заселяються вищими рослинами. У сучасних умовах самозаростаючі відвали є цікавим

об'єктом для вивчення онтогенезу різних едафотопів, формування мікробних ценозів і, у підсумку, становлення техноекосистем (Узбек, Шемавнев, 2004; Гидротермические особенности..., 2007).

Складаючи екологічний ряд з різних (за літологічним складом та віком) моделей екотопів, можна простежити послідовні етапи перетворення материнських порід на протегрунти (Забалуев, 2005).

Розробка нових підходів до стабілізації функціонування агроекосистем на рекультивованих землях пов'язана із всебічним урахуванням прояву адаптивних реакцій сільськогосподарських культур на вплив абіотичних, біотичних і антропогенних чинників (Жученко, 1988; Панас, 1989; Толкачев и др., 2002). Залежність прояву адаптивних реакцій рослин нерозривно пов'язана з рівнем екотопічного об'єму та біотичної ємності агроекосистеми. Академік М.Т. Масюк таким чином сформулював поняття екотопічного об'єму та біотичної ємності (Масюк, 1980):

- екотопічний об'єм – це комплекс загальних, біологічно доступних та використовуваних прямих та непрямих за дією екологічних ресурсів, який формується на певній ділянці земної поверхні (едафотопи) під впливом мега-, мезо- і мікроклімату, біотичних факторів (з урахуванням їх прямої дії та післядії, наприклад у сукцесіях та сівозмінах) і господарчої діяльності людини.
- біотична ємність – це місткість у межах певного екотопічного об'єму нормально розвинутих біологічних груп автотрофних рослин (видів, різновидностей, сортів, гібридів) і консортивно пов'язаних з ними мікробо- і зооценозів, життєві потреби яких впродовж багатьох років оптимально можуть бути забезпечені екотопом, а в регульованих умовах середовища – постійно.

Іншими словами, на думку М.Т. Масюка, екотопічний об'єм вказує на розмаїття екологічних умов (властивостей екотопів), а біотична ємність – на раціональні шляхи їх використання за допомогою автотрофних рослин.

Відомо, що в основних гірничодобувних регіонах території колишнього СРСР, при відкритій розробці родовищ, більше ніж половина площі порушених земель припадає на зовнішні породні відвали (Федотов, 1985; Андроханов и др., 2000; Махонина, 2003 и др.).

Виходячи з положень В.І. Вернадського (Вернадский, 1926, 1978), дослідженнями вітчизняних вчених було підтверджено, що основним «зряддям» біологічної рекультивації порушених земель є «жива речовина» піонерних біогеоценозів (Панас, 1989; Чибрик, 2002 та ін.).

Техногенні відвально-кар'єрні ландшафти у своєму розвитку проходять три фази: ініціальну, посттехногенну та фазу оптимізації. Для ініціальної фази характерні слаборозвинуті нечисленні мікробні угруповання, представлені переважно формами, що здатні до «захоплення» простору, та оліготрофними формами, що притаманні початковим асоціаціям. Посттехногенна фаза характеризується помітним збагаченням мікробних угруповань та їх таксономічною перебудовою, спостерігається вертикальний розподіл мікроорганізмів по профілю. Далі розвиток проходить з накопиченням видів, характерних для зональних ґрунтів (Етеревская и др., 1985).

Відвальні породи надрудної товщі марганцю мають різний вік, мінералогічний склад, фізико-хімічні особливості, що докладно вивчено за час рекультиваційних робіт у Нікопольському марганцеворудному басейні. Ці властивості розкривних гірських порід певною мірою впливають на спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів у відвалах різного літологічного складу.

У свіжосформованих відвалах порівняно з надрудною товщею порід змінюються зовнішні екологічні чинники: водноповітряний, світловий і термічний режими, пришвидшуються окисно-відновлювальні процеси. Це створює умови для існування мікроорганізмів, які беруть участь у процесах перетворення речовини та енергії в технозомах. Визначення процесів формування мікробоценозів передбачає урахування як найбільшої кількості можливих шляхів надходження мікробних клітин та їх здатності до колонізації.

Процес зняття і складування надрудних порід у відвали – процес короткотривалий. При звичайному режимі роботи роторного комплексу час від зняття породи до створення відвалу вимірюється хвилинами. В забої роторного екскаватора при знятті порід уступу кар'єру починається активне перемішування у повітрі пилу, складеного з часточок порід. Взаємодія свіжознятих порід з аерозолями повітря призводить до накопичення значно більшого запасу клітин, спор, ніж мікроорганізмів, що належать до власної мікрофлори порід.

Термін зберігання розкритих порід у відвалах та інтенсивне заростання відвальних порід на третій рік зберігання обмежили час вивчення мікрофлори відвалів трьома роками.

На початкових стадіях біологічного освоєння рекультивованих земель відбуваються інтенсивні процеси мікробного заселення

субстратів гірських порід представниками всіх основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Піонерні мікробні асоціації, що спостерігаються у лесоподібних відкладеннях, складені з представників усіх груп. Чисельність амілолітичних та амоніфікувальних мікроорганізмів зросла у 3 та 5,2 раза відповідно до вмісту їх у породах. Целюлозоруйнівні мікроорганізми у 6 разів активніше розвивалися в однорічних відвалах.

У табл. 2.6 показано розвиток евтрофів у субстратах, складених з глинистих порід. Слід зазначити, що вміст амоніфікувальних бактерій у сіро-зелених мергелястих глинах був на порядок вищим за чисельність у лесоподібних відкладеннях. Такий «сплеск» чисельності, скоріше за все, пов'язаний з масовим розмноженням та таким самим масовим відмиранням мікробних клітин, що призводить до накопичення білкових органічних речовин. Масове, вибухоподібне розмноження мікроорганізмів у відвалах глин, швидше, пов'язано з їх водоутримуючою здатністю.

Активний розвиток мікроорганізмів, що живляться білковими речовинами та азотними сполуками, в амонійній формі у бідних на азот субстратах у перший рік зберігання порід є важливим показником середовищевотворювальної функції мікроорганізмів.

Чисельність евтрофних мікроорганізмів у трирічних відвалах суттєво зростала, однак у порівнянні із вмістом у зональних ґрунтах чисельність була дуже низькою.

Таблиця 2.6

**Чисельність евтрофних мікроорганізмів у гірських породах різновікових відвалів, тис. КУО в 1 г субстрату**

Літологічна основа відвалу	Вік, роки	Амоніфікувальні	Целюлозоруйнівні	Пектин-руйнівні	Амілолітичні
Лесоподібні відкладення	1	22,81 ± 0,4	0,06 ± 0,005	0,02 ± 0,001	10,4 ± 0,09
	3	1082 ± 19,7	28,2 ± 0,307	87,7 ± 1,6	4267 ± 38,4
Червоно-бурі глини	1	6,93 ± 0,1	0,07 ± 0,003	0,04 ± 0,003	23 ± 0,21
	3	75,35 ± 1,4	3,68 ± 0,033	351,7 ± 3,06	9513 ± 85,7
Сіро-зелені глини	1	1656 ± 30,1	0,04 ± 0,004	0,08 ± 0,007	66,5 ± 0,60
	3	288,4 ± 5,2	33,9 ± 1,061	289,7 ± 3,86	2566 ± 23,1

Піонерним мікробним асоціаціям у всіх субстратах притаманні сильні флуктуації чисельності, пов'язані з нерівномірним надходженням поживних речовин. Цей процес триває усю ініціальну фазу розвитку техно-косистем (Зленко, 2008).

В умовах Степу України мікробні процеси проходять досить активно і зазвичай лімітуються гідротермічними умовами. Оліготрофні мікроорганізми функціонально ніби згладжують коливання, викликані абіотичними чинниками, та не лише «компенсуюча» функція належить цим групам. Вони легко уповільнюють фізіологічні процеси, переходять у латентний стан не поринаючи у повний фізіологічний спокій (Зленко, 2008).

Таким чином, діяльність мікроорганізмів оліготрофного блоку суттєво впливає на життя усього первинного мікробного угру-

повання. У породах у місцях корінного залягання порід оліготрофні мікроорганізми були основною формою життя. Їх порівняно незначна кількість стала основою для подальшого розвитку у відвалах.

Накопичена під час мікробної контамінації у кар'єрах біомаса клітин, міцелію, що не здатна до подальшого розвитку, утворила початковий запас органічних речовин відвалів гірських порід, що засвоюється різноманітними оліготрофними мікроорганізмами. Показники чисельності амоніфікувальних та амілолітичних оліготрофних мікроорганізмів, що наведені у табл. 2.7, вказують на суттєве зростання чисельності цієї групи з часом. У трирічних відвалах зростання чисельності вказує на суттєву нестабільність у надходженні поживних речовин.

Таблиця 2.7

**Чисельність оліготрофних мікроорганізмів у гірських породах різновікових відвалів, тис. КУО в 1 г субстрату**

Літологічна основа відвалу	Вік, роки	Оліготрофи на МПА 1:10	Оліготрофи на КАА 1:10	Оліготрофи на ГА	Педотрофи
Лесоподібні відкладення	1	30,8 ± 0,28	1,34 ± 0,056	1,67 ± 0,011	0,03 ± 0,020
	3	2584 ± 23	3426 ± 28	1803 ± 33	62,4 ± 87,73
Червоно-бурі глини	1	53 ± 0,4	0,13 ± 0,001	1,69 ± 0,031	114,4 ± 1,30
	3	8333 ± 174	6268 ± 51	351,7 ± 6	876,5 ± 9,96
Сіро-зелені глини	1	177,8 ± 1,59	0,17 ± 0,012	3,9 ± 0,07	0,13 ± 0,005
	3	4801 ± 43	18460 ± 149	3725 ± 68	1,66 ± 0,03

Сукцесійний процес у мікробних угрупованнях відвалів полягає у збільшенні чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів, порівняно з їх вмістом у породах у природному середовищі. На мікробні сукцесії у трирічних відвалах вплив також має фрагментарне формування піонерних фітоценозів, які представлені переважно оліго- та еврїтрофними видами рослин.

У трирічних відвалах інтенсивніше відбувалися процеси мікробної мінералізації

органічних сполук. В сіро-зеленій та червоно-бурій глинах коефіцієнт мінералізації зростав у 6,7 та 4,4 раза відповідно (табл. 2.8).

Едафічні властивості, хіміко-мінералогічний та гранулометричний склад гірських порід суттєво впливають на чисельність мікроорганізмів та формування структури їх угруповань.

Отже, формування мікробних угруповань відвалів протягом перших трьох років

Таблиця 2.8

**Ступінь оліготрофності мікробних ценозів та коефіцієнт  
мінералізації у різновікових відвалів**

Порода	Вік відвалу, роки	Показник оліготрофності	Коефіцієнт мінералізації – засвоєння азоту
Лесоподібні суглинки	1	1,35	0,46
	3	2,39	1,67
Червоно-бура глина	1	0,70	0,31
	3	1,20	1,37
Сіро-зелена глина	1	0,62	0,23
	3	2,90	1,55

обумовлено дією комплексу чинників, з яких, на нашу думку, визначальними є контамінація, едафічні і гідротермічні умови, піонерні угруповання рослинності. Формування первинних фітоценозів змінює гідротер-

мічний режим поверхні відвалів, а кореневі системи є джерелом органічних речовин, які стимулюють зростання кількості і видового складу мікроорганізмів, сприяють стійкості і різноманіттю мікробних угруповань.

## **2.6. Степове лісознавство як концептуальна основа формування меліоративних лісових насаджень на порушених землях**

В.М. Зверковський

**Д**ля відновлення господарського потенціалу порушених земель в умовах техногенного ландшафту необхідним є формування стійкого і продуктивного біогеоценотичного покриву. Теоретичну основу процесу освоєння порушених промисловістю земель становить комплексна наука – біогеоценологія, яка базується на концепціях таких галузей науки, як кліматологія, ґрунтознавство, фітоценологія, зоологія, мікробіологія, географія, ландшафтознавство, агроекологія, лісознавство. Біогеоценологію та молекулярну біологію вважають провідними розділами біології. Біоценологія, а через неї і загальне вчення про біосферу, є високоспеціалізованим узагальненням усіх попередніх класичних напрямів

біологічних наук (Арнольди, 1963; Дылис, 1978).

Зокрема, лісова біогеоценологія розглядає будь-яку ділянку лісу як певну єдність, де рослинність, фауна, мікроорганізми, ґрунт і атмосфера знаходяться в тісній взаємодії. Комплексна експедиція Дніпропетровського державного університету з вивчення лісів степової зони, створена в 1949 році професором О.Л. Бельгардом, цілком прийняла концепцію В.М. Сукачова про біогеоценоз (Сукачев, 1964). Ця концепція базується на ідеях В.В. Докучаєва (1953), В.І. Вернадського (1960), Г.Ф. Морозова (1970).

Відомо, що екологія, як теоретична основа охорони природи, вивчає умови жит-