

БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

УДК 631.618; 581.144.2; 631.461
© 2016

І.Х. УЗБЕК,
доктор біологічних наук

Дніпропетровський державний
аграрно-економічний університет,
Україна
E-mail: uzbek_ivan@mail.ru
м. Дніпро, вул. С. Єфремова, 25

БІОГЕОЦЕНОТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНОГЕННИХ ЕКОСИСТЕМ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Показано, що максимальна кількість мікроорганізмів налічується навесні з подальшим стрибкоподібним зниженням до осені. Встановлено, що культурфітоценози сприяють збільшенню кількості мікроорганізмів до декількох сотень мільйонів на 1 г наважки та стабілізації конструкції мікробних угруповань відповідно до фізико-хімічних властивостей природно-техногенних комплексів. Експериментально доведено, що загальна біологічна продуктивність люцерни і еспарцету на варіантах без добрив становила 14–18 т/га (повітряно-суха маса), у тому числі до 11 т/га коренів, з яких 74–87 % зосереджувалось у шарі 0–40 см. Розроблено метод визначення еколого-біологічних характеристик кореневих систем за яким встановлюються особливості їх будови і розташування, розраховуються поверхня, довжина та насиченість ґрунтів коренями. Стверджується, що реальним засобом перетворення природно-техногенних комплексів у земельні угіддя є впровадження культурфітоценозів, які разом з мікроорганізмами і іншою біотою стають вузловими осередками концентрації елементів ґрунтової родючості і є основою налагодження консортивних зв'язків – складових процесу ґрунтоутворення.

Ключові слова: природно-техногенні комплекси, рекультивация, ґрунтові мікроорганізми, корені рослин, консортивні зв'язки, ґрунт.

*Из одного состояния земля переходит в другое.
Прежних нет свойств у нее, но есть то, чего не было прежде.
Тит Лукреций Кар. “О природе вещей”*

Постановка проблеми. Наразі виробнича діяльність людини в гірничодобувній промисловості супроводжується створенням зовнішніх і внутрішніх відвалів кар'єрів, різноманітних териконів, шламосховищ та інших новоутворень, що вже густою мережею вкривають площу колишніх орних земель. Це так звані природно-техногенні комплекси, які в переважній більшості являють собою специфічний продукт сучасної виробничої діяльності людини. По великому рахунку

це *terra incognita* – невідома земля, що й визначає необхідність її еколого-біологічного дослідження.

Природно-техногенні комплекси – то є передусім надто складне гетерогенне середовище, де внаслідок анемо-, гідро-, зоо- та антропохорії першими поселяються і починають діяти мікроорганізми і насіння трав'янистих угруповань з аборигенних непорушених територій. Саме вони формують мікробо-рослинні асоціації, розвиток яких

відбувається під пресом фізико-хімічних властивостей сумішей різних розкритих гірських порід. Тому еколого-біологічні дослідження техногенних новоутворень мають велике теоретичне та практичне значення, оскільки визначають основу їхньої цілеспрямованої рекультивациї і подальшого використання в різних сферах економічної діяльності. Актуальність нашого дослідження аргументується і матеріалами таких надзвичайно важливих міжнародних документів, як "Глобальний форум з навколишнього середовища і розвитку з метою виживання" (Москва, 1990), "Програма дії", ухвалена конференцією ООН (Ріо-де-Жанейро, 1992), рішення Всесвітнього саміту зі сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002) і декларація "Майбутнє, якого ми прагнемо", ухваленої конференцією ООН "Ріо +20" (Ріо-де-Жанейро, 2012).

Мета нашого дослідження – вивчити особливості розвитку біоценозів у товщі природно-техногенних комплексів.

Матеріали і методи дослідження. На відпрацьованих кар'єрних територіях степової зони України поверхня природно-техногенних комплексів найчастіше складена четвертинними і третинними гірськими породами та їх сумішами в різних співвідношеннях.

У *мікробіоценозах* нами вивчалася сезонна динаміка чисельності ґрунтових мікроорганізмів у чорноземі південному зі староорного поля, в насипному шарі маси чорнозему 40-сантиметрової товщі, у суміші порід лесоподібних суглинків і давньоалювіальних пісків, у лесоподібних суглинках, а також у червоно-бурій та сіро-зеленій глинах, винесених на денну поверхню з глибини 70–200 м. Для цього протягом багатьох років, щомісяця з квітня по листопад, відбирали зразки ґрунту і гірських порід із різних шарів метрової товщі досліджуваних природно-техногенних комплексів. Особливу увагу приділяли орному шару 0–40 см. Зразки відбирали і з лицевої стінки діючого кар'єру, із ризосфери люцерни і еспарцету, що зростали на різних варіантах, а також у проходах між варіантами. Проходи мали ширину 2 м, постійно оброблялися для знищення бур'янів і тому знаходилися у пухкому і чистому від бур'янів (пароподібному) стані.

У відібраних зразках визначали загальну кількість мікроорганізмів і кількість спороносних форм на МПА, олігонітрофіли на Ешбі, ґрунтові гриби на середовищі Чапека, азотобактер на спеціальному середовищі Ешбі та аеробні целюлозоруйнівні мікроорганізми на середовищі Гетчинсона.

У *трав'янистих угрупованнях* досліджували еколого-біологічні особливості розвитку корневих систем люцерни і еспарцету рамковим способом у нашій модифікації [9]. Відповідно до неї корені люцерни та еспарцету розподіляли за їх товщиною на фракції: більше 5 мм, 5–1,0, 1,0–0,5 і менше 0,5 мм. Кожну фракцію зважували, що давало уявлення про будову всієї кореневої системи та її розподіл у метровій товщі едафотопу.

Досліди були крупноділяночними, закладеними методами, що враховують неоднорідності ґрунтового покриття [4, 5].

Мінеральні добрива вносили з розрахунку 80 кг д. р./га, гній – 25 т/га.

Для аналізу зразків порід і ґрунтів використовували загальноприйняті мікробіологічні та фізико-хімічні методи [1, 7, 11]. З метою підвищення об'єктивності результатів кожного аналізу проводили змішування зразків однойменних шарів із п'яти розрізів однотипних екотопів. Отримані дані піддавали математичній обробці [2], результати якої дозволяють вважати їх вірогідними.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Мікробіоценози рекультивованих земель як компоненти складних біогеоценотичних систем. Здатність мікроорганізмів чуйно реагувати на зміну екологічних умов робить їх одним з основних критеріїв оцінки впливу екологічних факторів на формування рекультивованих земель. Цей факт підтверджується результатами наших багаторічних досліджень [8, 10.], проведених в умовах видобутку корисних копалин у Дніпропетровській області. На жаль, відомі нам наукові статті з цієї проблеми мають фрагментарний характер і містять випадковий, неапробований матеріал, що унеможлиблює порівняння з ним наведеної нижче інформації.

Насамперед, деякі пояснення, які мають безпосереднє відношення до теми нашої роботи. Отже, надзвичайно своєрідні екологіч-

ні умови техногенного середовища створюють різні біоценозні системи (біогеоценози), які складаються з декількох угруповань організмів (біоценозів) і властивого їм косного середовища (екотопа). У свою чергу екотоп складається з наземного середовища (аеротопу) і з ґрунтових умов (едафотопу). При цьому до біоценозів входять дві групи організмів: автотрофи (зазвичай, це фототрофи) і гетеротрофи. Фототрофи – це зелені рослини, які через фотосинтез поглинають та акумулюють у своїй масі сонячну енергію. Цю органічну масу поїдають гетеротрофи і тим самим поглинають енергію сонячного променя. Саме тому фототрофи отримали назву продуцентів.

Отже, гетеротрофи енергетично залежать від фототрофів і не здатні існувати без них. Завдяки цій енергії гетеротрофи здійснюють мінералізацію органічних речовин до утворення елементів мінерального живлення, якими і користуються автотрофи. У такому надзвичайно складному процесі особливу роль відіграють ґрунтові мікроорганізми.

Наші багаторічні дослідження [8, 10] показали, що в усіх зразках гірських порід, що відібрані безпосередньо в кар'єрі з товщі землі, яка руйнується, мікроорганізми відсутні. Тільки в лесоподібних суглинках з глибини 4,5 м і у червоно-бурій глині з глибини 12 м кількість олігонітрофілів становила відповідно 6 і 4 тис./г абсолютно сухої наважки. Такі показники близькі до помилки досвіду. Ними можна було б знехтувати, але ми їх наводимо, оскільки вони зафіксовані в результатах аналізів.

Стерильність земельної товщі на великій глибині пояснюється відсутністю умов для функціонування мікроорганізмів. Отже, і пул мікроорганізмів у свіжовідсипаних гірських породах практично дорівнює нулю. Проте з моменту проведення гірничотехнічного етапу рекультивациі починають проявлятися ті складні процеси, сукупність дії яких зумовлює різке підвищення чисельності ґрунтових мікроорганізмів. Саме тому їх кількість збільшується в процесі виймання та транспортування розкритих порід у відвал і планування його поверхні. З цього часу інкуляція порід спорами і клітинами мікро-

організмів відбувається, в основному, інфікованим матеріалом еолового походження, а також у разі випадання розчинних органічних речовин з дощовою водою на поверхню природно-техногенних комплексів. Не випадково, що вже через 7 років після виносу гірських порід на денну поверхню і впливу на них атмосферних факторів починається інтенсивний процес зараження верхніх шарів едафотопів мікроорганізмами до рівня надлишкового пулу.

Треба визнати, що в товщі природно-техногенних комплексів безліч ще не зайнятих мікроорганізмами мікрозон із властивими тільки їм екологічними умовами, іноді цілком придатними для заселення мікрофлорою. Проникаючи в такі мікрозони, мікроорганізми піддають руйнації мінерали гірських порід і створюють умови для накопичення живильних речовин.

У будь-якому випадку в неудобренних, позбавлених рослинного покриву контрольних варіантах 20-річного віку кількість мікроорганізмів, як і раніше, була досить мінливою (табл. 1). Однак чисельність мікроорганізмів дещо стабілізувалася і амплітуда флуктуацій в шарі 0–20 см природно-техногенних комплексів уже не мала таких різких підйомів і спадів, як у цьому ж шарі на ділянках 7-річного віку. Причому інтенсивність коливань кількості мікробних клітин у шарі 20–40 см знизилася більше, ніж у шарі 0–20 см. Це пояснюється реагуванням мікроорганізмів з поверхневого шару едафотопів на зміни атмосферних факторів (дощ, посуха і т.д.). Отже, динаміка загальної чисельності мікроорганізмів обумовлена дуже складним характером взаємин, що створюється між мікроорганізмами, рослинами і едафотопами з їх різними фізико-хімічними властивостями.

Мікроорганізми, які перебувають у товщі природно-техногенних комплексів, не стільки пристосовані, скільки змушені функціонувати в жорстких умовах живильного і водно-повітряного режимів. При цьому мікробні угруповання формують свої спільноти з тих фізіологічних груп мікроорганізмів, які здатні функціонувати навіть в екстремальних умовах техногенного середовища.

1. Динаміка загальної чисельності мікроорганізмів, млн/г абсолютно сухої наважки

Варіант досліджу	Глибина відбору зразків, см	Час аналізу						
		квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень
1. Непорушений чорнозем звичайний без рослин	0–20 20–40	17,9 6,3	6,1 5,6	7,4 5,1	11,1 3,8	16,0 13,1	24,3 4,0	5,3 4,0
2. Насипний шар чорноземної маси без рослин	0–20 20–40	16,8 3,5	21,1 4,5	5,0 1,7	8,4 7,4	5,3 18,6	7,1 4,1	7,2 5,2
3. Насипний шар чорноземної маси з рослинами люцерни	0–20 20–40	14,8 11,5	14,2 12,5	12,3 7,1	14,7 4,9	13,9 15,4	13,9 10,8	8,4 5,9
4. Лесоподібний суглинок без рослин	0–20 20–40	8,5 3,6	4,0 2,2	2,2 1,4	12,1 2,0	13,7 1,6	7,3 3,4	10,2 4,6
5. Лесоподібний суглинок з рослинами люцерни	0–20 20–40	10,3 6,1	14,1 6,5	9,5 11,1	5,6 3,3	7,8 2,1	12,2 5,9	5,4 3,2
6. Червоно-бура глина без рослин	0–20 20–40	12,7 2,6	4,7 1,5	2,5 1,0	10,0 3,0	7,9 1,6	7,5 0,9	4,9 1,2
7. Червоно-бура глина з рослинами люцерни	0–20 20–40	16,4 7,0	4,0 4,0	12,1 7,6	12,8 10,1	10,8 7,1	8,1 7,6	7,3 2,2
8. Сіро-зелена глина без рослин	0–20 20–40	8,4 1,6	5,0 9,8	2,0 1,9	6,6 1,8	8,5 0,5	9,5 1,4	10,9 1,2
9. Сіро-зелена глина з рослинами люцерни	0–20 20–40	32,0 18,3	12,8 7,5	15,5 8,0	16,0 5,8	5,8 6,3	12,5 7,3	12,6 4,2

Привертає до себе увагу та обставина, що склад мікроценозу, який формується під впливом жорстких екологічних умов, є відносно консервативним. Саме тому чисельність окремих груп мікроорганізмів відбиває рівень біологічної активності природно-техногенних комплексів. Зазначимо, що максимальна кількість мікроорганізмів налічується навесні, з подальшим стрибкоподібним зниженням до осені. У весняний період року, до червня, у верхніх шарах досліджуваних нами природно-техногенних комплексів ще багато вологи, достатньо тепла і їжі, що і сприяє інтенсивному розвитку і розмноженню мікрофлори. З початком літа підвищується температура у верхніх шарах едафотопу, особливо в приземному шарі повітря. Значно збільшується і витрачання води на транспірацію рослин, а кількість продуктивної вологи зменшується до рівня вологості стійкого в'янення рослин. Зрозуміло, що жорсткі гідротермічні умови не сприяють збільшенню чисельності мікроорганізмів. Тому різна реакція природно-техногенних комплексів на такі природні явища, як дощ, вітер, посуха

і т.д. деякою мірою пояснює різкі пульсації чисельності ґрунтових мікроорганізмів.

Циклічна динаміка загальної чисельності мікроорганізмів у товщі едафотопів указує на те, що функціонування мікробної спільноти на ранніх стадіях розвитку техноекосистем знаходиться в тісному зв'язку з гідротермічними умовами їхнього середовища. Свідченням цьому є збіг періодів підйому і спаду чисельності мікроорганізмів у різних за якісними показниками едафотопів.

Розвиток мікроорганізмів на контрольних варіантах (без рослин і без добрив) обмежується недостатньою кількістю елементів живлення, особливо відсутністю органічної речовини. Саме тому в ризосфері коренів, куди надходять кореневі виділення, утворюється сприятливе середовище для мікроорганізмів. Крім того, відбувається міграція мікроорганізмів зі зон, які ще необжиті коренями рослин, у зони, де коренева система засвоює нові об'єми гірських порід. У свою чергу мікроорганізми, які функціонують у ризосфері рослин, постачають їм живильні речовини, оскільки розчинюють навіть не-

розчинні форми органічних і мінеральних сполук.

Різка пульсація чисельності ґрунтових мікроорганізмів залежить не тільки від наявності живильних речовин у товщі природно-техногенних комплексів, а і від внутрішніх закономірностей розвитку мікробних ценозів. Пульсаційний характер зміни чисельності мікроорганізмів свідчить про те, що максимальний їхній розвиток закономірно супроводжується подальшим лізисом, який приводить до звільнення від клітинної оболонки мікробів їхніх ферментів. Саме в процесі максимального розкладу клітинних структур і починається інтенсивний розвиток ферментативних процесів, які сприяють звільненню елементів живлення для рослин.

На наш погляд, регулятором чисельності мікроорганізмів у товщі природно-техногенних комплексів можуть бути й інгібітори росту. На підтвердження викладеного пошлемося на результати досліджень Я.П. Худякова [12], який першим встановив, що в процесі активного розмноження мікроорганізмів утворюється і накопичується токсична речовина, яку він назвав *періодіном*. Ця речовина гнітить мікробні клітини, унаслідок чого зменшується їхня кількість. Згодом, під впливом кисню, періодін руйнується і мікроорганізми отримують можливість знову розмножуватися. Я.П. Худяков переконаний, що ця речовина утворюється всіма мікроорганізмами, а швидкість її накопичення і руйнації регулює розмноження і відмирання мікробних клітин.

Цією обставиною ми пояснюємо і весняний максимум чисельності мікроорганізмів, який протягом літа вже не повторюється. Пізньої осені і рано весною мікроорганізми перебувають у недіяльному стані: утворення інгібіторів припиняється, вони руйнуються майже до повного зникнення. Навесні в прогрітому ґрунті мікроорганізми швидко розмножуються, оскільки дія інгібіторів їхнього росту відсутня.

Не виключаючи наявності в товщі природно-техногенних комплексів інгібіторів росту мікроорганізмів, не можна зневажати і тим фактом, що пульсаційний характер чисельності мікроорганізмів зумовлюється та-

кож взаємодією за принципом хижак-жертва і паразит-хазяїн. Не заперечуючи існування взаємодій хижак-жертва та паразит-хазяїн, зазначимо, що флуктуаційний характер чисельності мікроорганізмів у товщі природно-техногенних комплексів, перш за все, обумовлюється складними екологічними факторами, до яких, крім наявності вологи та температури, треба віднести ще і фізико-хімічні властивості середовища.

Деякі дослідники задовольняються умовними критеріями оцінки чисельності мікроорганізмів. Наприклад, відомий мікробіолог Д.Г. Звягінцев [3] вважає, що бактерії мають істотне екологічне значення тільки тоді, коли кількість їхніх клітин перевищує 1 млн на 1 г наважки. Якщо це так, то тоді в кореневмісному шарі всіх досліджуваних нами природно-техногенних комплексів цілком достатньо ґрунтових мікроорганізмів.

Багаторічні мікробіологічні дослідження зі зразками гірських порід дозволяють нам навести в статті лише основні теоретичні передумови.

Передусім необхідно нагадати про створення в товщі едафотопів мікробіологічного профілю, в якому простежуються три шари. Перший – верхній і найактивніший шар завтовшки 20 см. У ньому іноді налічується більше 50 % загальної кількості мікроорганізмів у метровій товщі едафотопу. Така закономірність спостерігалася завжди на всіх варіантах досліду.

Нижче розташовується другий шар 20–40 см, менш активний, але теж рясно заселений мікроорганізмами. Висока мікробіологічна активність цих двох шарів пояснюється їх насиченістю коренями рослин. Оцінюючи значення чисельності мікроорганізмів у шарах 0–20 і 20–40 см, необхідно враховувати, що більшість хімічних сполук, які надходять в едафотоп, є проміжними продуктами мікробного метаболізму, що позитивно впливає на окультурення техногенної товщі. При цьому ризосфера визнана зоною найвищої мікробіологічної активності і концентрації мікробної маси. Саме їй належить провідна роль у забезпеченні рослин живильними речовинами і в інтенсифікації процесів кругообігу вуглецю та азоту в товщі

природно-техногенних комплексів. Проте в шарі 20–40 см уже позначається дія деяких факторів, що обмежують розвиток мікроорганізмів, наприклад лужна реакція середовища, невелика шпаруватість, зниження вмісту органічних речовин і т. д.

Важливою особливістю верхнього 40-сантиметрового шару молодих ґрунтів є і те, що максимальна кількість мікроорганізмів налічується лише на початкових стадіях розвитку ґрунтів. У подальшому їх чисельність не збільшується, а іноді навіть зменшується. Можливо, такий факт пояснюється тим, що на початку розвитку ґрунтів їх поверхня активно заселяється мікрофлорою зі сусідніх, ще не порушених земель. Тому чисельність мікроорганізмів збільшується доти, поки не починають діяти обмежуючі фактори.

Як довели результати наших досліджень, криві зміни чисельності мікроорганізмів у нижніх шарах, як правило, не збігалися з кривими змін чисельності мікроорганізмів у верхніх шарах, навіть однотипних едафотопів. Таке становище обґрунтовується тим, що тверда фаза едафотопів утворює численні микрзоны, частково або повністю ізольовані одна від одної. У кожній такій зоні створюється мікросередовище з притаманними тільки йому специфічними властивостями. Зрозуміло, що синхронного розвитку мікробів у таких середовищах бути не може.

З глибини 40 см починається третій шар, в якому число мікробів досягає лише кількох тисяч, а на глибині 1,5–2,0 м від поверхні вони практично не виявляються.

Чисельність мікроорганізмів в едафотопіях змінюється не тільки в результаті добових чи сезонних змін екологічних умов, але і в силу внутрішніх особливостей розвитку едафотопу і мікробних угруповань у ньому.

Тривале перебування едафотопів у паровому стані (без рослин) або вирощування на них сільськогосподарських культур приводить до стабілізації чисельності мікроорганізмів на рівні, відповідному фізико-хімічним властивостям едафотопу. Підвищення або пониження цього рівня відбувається тільки в разі зміни екологічних умов середовища, а також у зв'язку з особливостями розвитку мікробного угруповання.

Максимум чисельності мікроорганізмів, який протягом літа вже не повторюється, припадає на кінець травня–початок червня. Надалі амплітуда флуктуацій кількості мікроорганізмів не досягає високих величин, хоча і носить характер пульсацій. Отже, найбільш висока інтенсивність мікробіологічних процесів у товщі природно-техногенних комплексів припадає на весняний період року, а найнижча – на літній.

Кожен екотоп має свій максимум числа мікроорганізмів, величина якого залежить від індивідуальних особливостей цього едафотопу і його чутливості до атмосферних впливів. Амплітуда коливань кількості мікроорганізмів у загальних рисах повторюється в товщі всіх едафотопів, що свідчить про великий вплив гідротермічних умов на розвиток ґрунтових мікроорганізмів. Особливо дієвим чинником, який багато в чому визначає напрям сезонної динаміки мікрофлори, є вологість верхньої товщі едафотопів. За оптимальних значень вологості у весняний період року в шарі 0–20 см уміст мікроорганізмів характеризується іноді навіть дуже високою щільністю.

За всіх інших рівних умов для розвитку мікроорганізмів вирішальне значення мають корені рослин, оскільки вони містять велику кількість поживних речовин і виділяють у ризосферу органічні сполуки. Така взаємодія коренів і мікроорганізмів приводить до перетворення едафотопу в біологічно діяльне середовище і його інтенсивне окультурення.

В умовах техногенного середовища ризосфера – це та область едафотопу, в якій найбільш активно відбуваються процеси трансформації азоту та інших елементів живлення. Саме тут інтенсивно розвиваються мікроорганізми, що використовують як мінеральні, так і органічні форми азоту. Ця обставина набуває величезного значення на рекультивованих землях. Насамперед тому, що в молодих ґрунтах техногенних екосистем дефіцит азоту є головним обмежуючим фактором для отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур. Тому наявність в товщі едафотопів мікроорганізмів,

що здатні засвоювати різні форми азоту, має велике значення.

Загальним для всіх досліджуваних нами варіантів виявилось інтенсивне розмноження зі середини вересня і до січня (3–4 місяці) мікроорганізмів, що засвоюють органічні форми азоту. Збільшення чисельності цих бактерій відбувається після надходження на поверхню едафотопів подрібнених рослинних рештків зі сусідніх староорних полів під час збирання врожаю сільськогосподарських культур. В інший час року переважний розвиток мали бактерії, що використовують мінеральний азот.

2. Еколого-біологічна роль трав'янистих угруповань в умовах техногенного середовища. У зоні розповсюдження корневих систем рослин мікроорганізмів у десятки разів більше, ніж у породах, позбавлених рослинного покриву (табл. 1). Ця особливість завжди проявлялася в дослідках з люцерною і еспарцетом, коренева система яких створює оптимальні умови для функціонування мікроорганізмів, збільшення їхньої чисельності та забезпечення взаємозв'язків усіх компонентів екосистеми.

Саме це дає підстави стверджувати, що реальним засобом перетворення природно-техногенних комплексів у земельні угіддя є впровадження культурфітоценозів (агроценозів, лісових насаджень і т.д.), які спроможні стабілізувати пухку масу розкритих гірських порід та спровокувати в ній розвиток нового процесу ґрунтоутворення. Цю особливість підказує сама природа, коли на різновікових відвалах кар'єрів [6] трав'янисті угруповання представлені рослинністю з більш-менш зімкненим травостоєм, утвореним в основному багаторічними мезофільними (середнього рівня водоспоживання) рослинами, а іноді і гігрофільними травами, які мають зимову перерву або різке зниження вегетації узимку.

Зазначимо, що вегетаційний період рослин, пристосованих до техногенного середовища степової зони України, протікає нормально, без літньої депресії. Навіть на ґрунтах різного зволоження (від сухих до сирих), різного багатства (від бідних до багатих) і з неоднаковим умістом легкорозчинних солей (від прісних до середньозасолених).

Як показала практика, із числа сільськогосподарських культур такі складні умови техногенного середовища спроможні подолати, насамперед, люцерна і еспарцет завдяки високій екологічній пластичності своїх корневих систем. Якщо загальна біологічна продуктивність, наприклад, на червоно-бурій глині (без добрив) в еспарцетові третього року життя у фазі повного цвітіння в середньому становила 112 ц/га, а в люцерни – 162 ц/га, то на корені припадало 65 %, або відповідно 73 і 105 ц/га. Перевага по масі підземної частини рослин є результатом їхньої адаптивності до умов техногенного середовища. Прагнення до самозбереження створює транслокацію, тобто внутрішньотканинний перерозподіл речовин і енергії. У жорстких умовах техногенного середовища цей процес полягає у створенні такої кількості підземної частини, у такій її будові і розподілі в товщі порід, яка здатна забезпечити рослину елементами живлення і створити максимально можливий урожай у даних конкретних екологічних умовах. Це ще одна унікальна біологічна особливість рослин люцерни і еспарцету, яка наочно проявилася за їхнього вирощування на рекультивованих землях і пояснює високі врожаї сіна цих культур.

Результати наших багаторічних досліджень підтвердили, що люцерна і еспарцет проявляють всі свої генетичні можливості тільки тоді, коли їх коренева система функціонує в екстремальних ґрунтово-екологічних умовах. Наприклад, у жорстких умовах природно-техногенних комплексів ріст, розвиток і навіть зовнішній вид рослин цілком залежать від ступеня відповідності екологічних умов середовища біологічним особливостям корневих систем. Отже, визначення величини маси коренів та особливостей їх розвитку в товщі едафотопів має велике значення не тільки з теоретичної точки зору, але і для вирішення цілого ряду практичних питань, наприклад, пов'язаних з обробітком рекультивованих земель, зі заходами підвищення їх родючості, встановлення строків посіву, внесення добрив, ядохімікатів і т. д.

Під час розподілу маси коренів на фракції вдалося виявити деякі відмінності в розви-

тку кореневих систем люцерни та еспарцету. Наприклад, люцерна утворювала значну кількість товстих коренів, що належать до фракції >5 і $5-1$ мм. Таку її біологічну особливість треба використовувати для закріплення відкосів зовнішніх відвалів, схилових ділянок та еродованих ґрунтів. Виростаючи в таких самих умовах, еспарцет створював більше коренів фракції $<0,5$ мм, тобто тонких коренів, які беруть активну участь в оструктурюванні розсипчастої маси гірських порід (рис. 1).

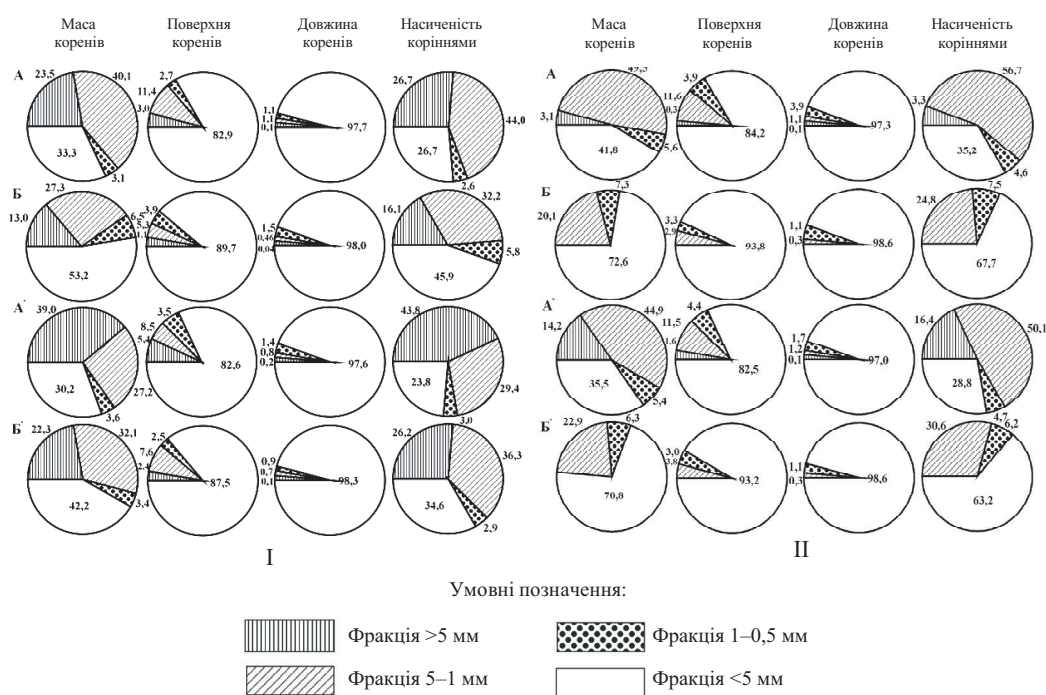
Маса тонких корінців у шарі 0–100 см досягала у люцерни 49 % і в еспарцету 85 % від загальної маси коренів. Цей показник має слугувати відносною оцінкою ступеня розвитку найбільш діяльної частини кореневої системи в поглинанні речовин. Адже саме тонкі корінці вступають у тісну взаємодію з твердою фазою ґрунту і забезпечують рослину водою та елементами живлення. Отже,

величина поверхні тонких коренів фракції $1-0,5$ і $<0,5$ мм може вважатися робочою поглинаючою поверхнею кореневої системи.

Звертає на себе увагу і та обставина, що рослини утворювали мало коренів фракції $1-0,5$ мм. Однак ця частина кореневої системи простежувалася по всьому профілю метрової товщі едафотопів. За всіх інших рівних умов переважний розвиток завжди отримували корені двох фракцій: $5-1$ та $<0,5$ мм.

Фракціонування кореневої системи дозволяє визначити поверхню і довжину коренів залежно від їх товщини. Для отримання цих показників ми користувалися даними усередненого діаметра і питомої ваги повітряно-сухих коренів окремо по кожній фракції.

Якщо прийняти корені за циліндри, то, маючи дані про масу коренів конкретних фракцій, їх середньостатистичний діаметр і питому вагу, можна розрахувати поверхню



А, Б – внесення повного мінерального живлення ($N_{80}P_{80}K_{80}$)

Рис. 1. Розвиток кореневих систем люцерни (А) і еспарцету (Б):
I – насипний шар чорнозему; II – сіро-зелена глина (II)

якоїсь фракції або всієї кореневої системи, її довжину і насиченість едафотопів коренями за встановленими коефіцієнтами [9].

Істотний вплив на будову, поширення й розподіл кореневої системи мають якісні властивості окремих шарів едафотопу. Так, у метровій товщі неудобренних лесоподібних суглинків і насипного шару ґрунту товщиною 40 см маса повітряно-сухих коренів еспарцету 3-го року життя становила відповідно 465,7 і 395,8 г/м². У варіантах із застосуванням повного мінерального добрива (N₈₀P₈₀K₈₀) додатково утворювалося відповідно 245 і 248 г коренів на 1 м².

У шарі 0–40 см зосереджувалося 77–85 % коренів від їх загальної маси у шарі 0–100 см. За умовного перерахунку на 1 га тільки в цьому, орному, шарі накопичувалося від 3 до 9 т коренів (повітряно-суха маса). Зрозуміло, що розкладання такої великої кількості органічного матеріалу здійснює істотний вплив на процес ґрунтоутворення. Характерно, що саме в цьому шарі концен-

труються і мікроорганізми, число яких сягає кількох десятків мільйонів на 1 г наважки.

Багаторічні бобові трави утворюють потужну кореневу систему з величезною протяжністю і поверхнею (табл. 2).

З усіх досліджуваних нами едафотопів максимальні величини поверхні і довжини коренів виявлено в рослин, що виростають на третинних глинистих відкладеннях. Так, поверхня коренів еспарцету з фракції <0,5 мм досягала 92 тис. см². Тонкі корені мали і найбільшу довжину. Якщо загальна довжина корневих систем на досліджуваних варіантах була в межах від 5 до 13 км/м², то на корінці самої тонкої фракції доводилося 95–99 %.

Корені густою мережею пронизували і закріплювали розкриті породи, залишаючи в них багатий поживними речовинами органічний матеріал. Це підтверджує насиченість едафотопів коренями, яка знаходилась у прямій залежності від маси коренів і досягала в еспарцеті 0,94 % і у люцерни

2. Розвиток корневих систем еспарцету і люцерни 3-го року життя (дані на 1 м²) *

Варіант досліджу	Поверхня коренів, см ²		Довжина коренів, м		Насиченість коренями, %	
	Потужність шару, см					
	0–40	0–100	0–40	0–100	0–40	0–100
1. Насипний шар чорнозему (без добрив)	<u>29700</u> 39196	<u>41361</u> 51775	<u>3462</u> 4180	<u>4852</u> 5634	<u>0,397</u> 0,858	<u>0,503</u> 1,002
2. Насипний шар чорнозему з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>42871</u> 44520	<u>54660</u> 58026	<u>4866</u> 4718	<u>6244</u> 6299	<u>0,734</u> 1,113	<u>0,859</u> 1,254
3. Лесоподібний суглинок (без добрив)	<u>41631</u> 49231	<u>57194</u> 67484	<u>4972</u> 5036	<u>6901</u> 7056	<u>0,458</u> 1,100	<u>0,574</u> 1,364
4. Лесоподібний суглинок з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>50463</u> 51600	<u>63853</u> 69282	<u>5844</u> 5512	<u>7424</u> 7491	<u>0,815</u> 1,161	<u>0,943</u> 1,418
5. Червоно-бура глина (без добрив)	<u>82965</u> 71916	<u>108119</u> 103451	<u>10219</u> 8151	<u>13400</u> 11998	<u>0,651</u> 1,116	<u>0,817</u> 1,369
6. Червоно-бура глина з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>56764</u> 69677	<u>82172</u> 96939	<u>6784</u> 7739	<u>9906</u> 10985	<u>0,592</u> 1,096	<u>0,778</u> 1,336
7. Сіро-зелена глина (без добрив)	<u>75986</u> 52140	<u>10655</u> 75261	<u>9231</u> 5642	<u>13003</u> 8491	<u>0,715</u> 0,893	<u>0,938</u> 1,068
8. Сіро-зелена глина з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>61501</u> 42497	<u>82467</u> 58533	<u>7372</u> 4543	<u>9996</u> 6436	<u>0,625</u> 0,854	<u>0,772</u> 0,996
* Тут і в табл. 3: чисельник – еспарцет, знаменник – люцерна.						

* Тут і в табл. 3: чисельник – еспарцет, знаменник – люцерна.

1,42 % від досліджуваного об'єму породи або ґрунту. Поділ коренів на фракції дозволяє встановити, що загальна маса коренів не відбиває реальної величини поверхні і довжини. Про це свідчать дані табл. 3: корені масою в 1 г мали різну поверхню і довжину, що залежало від якісних властивостей едафотопів.

Поліпшення умов живлення не завжди справляло позитивний вплив на розвиток кореневих систем. Внесення добрив збільшувало масу коренів тільки на четвертинних відкладеннях, але в жодному варіанті досліджу цей прийом не сприяв збільшенню поверхні або довжини коренів. Така закономірність дозволяє стверджувати про наявність високої екологічної пластичності кореневих систем, що відображають фізико-хімічні властивості навіть окремих шарів відвальної маси. На бідність едафотопу поживними речовинами рослини реагували збільшенням довжини і поверхні коренів, тобто в пошуках живильних речовин створювали більше корінців фракції <0,5 мм.

Характерно, що підземна частина рослин інтенсивніше розвивалася на червоно-бурих і сіро-зелених глинах. При цьому показники поверхні і довжини коренів люцерни майже завжди були меншими порівняно з еспарцетом, у якого на частку тонких корінців доводилося 90–98 % загальної поверхні кореневої системи та її довжини.

В умовах техногенного середовища люцерна і еспарцет на бідність едафотопу живильними речовинами реагують збільшенням поверхні і довжини коренів, тобто в пошуках живильних речовин вони створювали велику кількість тонких корінців. Ця обставина має велике значення. Саме кореневі волоски збільшують робочу поглинальну поверхню кореня і дозволяють йому інтенсифікувати процес поглинання живильних речовин. Наприклад, на площі в 1 га тільки у верхньому 40-сантиметровому шарі червоно-бурих глин (без добрив) довжина коренів еспарцету перевищувала 2,5 довжини екватора.

Вступаючи в тісну взаємодію з твердою фазою едафотопу, корені люцерни і еспар-

3. Поверхня і довжина кореневих систем еспарцету і люцерни 3-го року життя в перерахунку на 1 г повітряно-сухої маси

Варіант досліджу	Маса коренів, г/м³		Поверхня коренів, см²		Довжина коренів, м	
	Потужність шару, см					
	0–40	0–100	0–40	0–100	0–40	0–100
1. Насипний шар чорнозему (без добрив)	<u>305,8</u> 616,3	<u>395,8</u> 731,3	<u>97,1</u> 63,6	<u>104,5</u> 70,8	<u>11,3</u> 6,8	<u>12,3</u> 7,7
2. Насипний шар чорнозему з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>541,6</u> 786,2	<u>643,8</u> 901,3	<u>79,2</u> 56,6	<u>84,9</u> 64,4	<u>9,0</u> 6,0	<u>9,7</u> 7,0
3. Лесоподібний суглинок (без добрив)	<u>364,6</u> 787,1	<u>465,7</u> 988,0	<u>114,2</u> 62,6	<u>122,8</u> 68,3	<u>13,6</u> 6,4	<u>14,8</u> 7,2
4. Лесоподібний суглинок з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>605,2</u> 828,4	<u>711,2</u> 1024,6	<u>83,4</u> 62,3	<u>89,8</u> 67,6	<u>9,7</u> 6,7	<u>10,4</u> 7,3
5. Червоно-бура глина (без добрив)	<u>586,7</u> 837,2	<u>734,7</u> 1054,4	<u>141,4</u> 85,9	<u>147,2</u> 98,1	<u>17,4</u> 9,7	<u>18,3</u> 11,4
6. Червоно-бура глина з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>475,4</u> 821,6	<u>639,4</u> 1025,5	<u>119,3</u> 84,8	<u>128,5</u> 94,5	<u>14,3</u> 9,4	<u>15,5</u> 10,7
7. Сіро-зелена глина (без добрив)	<u>589,1</u> 662,5	<u>783,8</u> 814,9	<u>129,0</u> 78,7	<u>135,9</u> 92,4	<u>15,7</u> 8,5	<u>16,6</u> 10,
8. Сіро-зелена глина з добривами N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀	<u>506,9</u> 618,0	<u>635,2</u> 738,3	<u>121,3</u> 68,8	<u>129,8</u> 79,3	<u>14,5</u> 7,4	<u>15,7</u> 8,7

цету перетворюють її у біологічно діяльне середовище. Зрозуміло, що розкладання органічного матеріалу бобових культур суттєво впливає на інтенсифікацію нового ґрунтоутворювального процесу. Разом з бульбочковими бактеріями та вільноіснуючими азотфіксаторами корені люцерни і еспарцету 3-го року життя накопичують, наприклад, у шарі 0–20 см (без добрив) у середньому 350 кг/га азоту, 45 кг фосфору, 110 кг калію й 290 кг/га кальцію.

Наголосимо, що кореневі системи люцерни і еспарцету завжди інтенсивніше розвивалися в шарі 0–10 см. Тому вони були притиснуті до денної поверхні і за формою нагадувала літеру “Т”. Подібна закономірність незмінно повторювалася на всіх досліджуваних нами едафотобах. Причому в шарі 0–40 см зосереджувалося 74–87 % коренів. Зокрема, рослини еспарцету накопичували 30–60, а рослини люцерни – 62–84 цнт./га коренів (за 16 % вологості).

Багаторічними дослідженнями встановлено, що тільки бобові рослини (люцерна, еспарцет, горох, чина та ін.) спроможні в умовах техногенного середовища накопичувати велику кількість органічної маси. Наприклад, люцерна на сіро-зеленій глині (без добрив) забезпечувала отримання врожайності 42,8 ц/га. При цьому маса повітряно-сухих коренів у шарі 0–40 см становила 66 ц/га. Такі показники пояснюються тим, що люцерна і еспарцет функціонують спільно з мікроорганізмами, які рясно заселяють поверхню корневих систем. У кожному грамі абсолютно сухої наважки з шару 0–40 см ризосфери сіро-зеленої глини налічувалось десятки мільйонів мікроорганізмів. Спроможність мікроорганізмів жити на поверхні коренів, не проникаючи в їх тканини і харчуватися виділеннями цих же коренів, є основним фактором для налагодження в товщі едафотопів надзвичайно складних, багатифункціональних консортивних зв'язків.

В умовах техногенного середовища автотрофи і гетеротрофи приречені на спільне існування, яке згодом стає рушійною силою виникнення й інтенсивного розвитку ґрунтоутворення. Цей складний і довготривалий процес здійснюється саме завдяки консор-

тивним зв'язкам між автотрофами і гетеротрофами. Тобто консорції – це сполучення самостійно існуючих популяцій рослин і зв'язаних з ними живильними відносинами гетеротрофів.

Рекультивация природно-техногенних комплексів призводить до формування первинних консорцій, у яких як детермінант, тобто основне ядро, слугує самостійно існуюча автотрофна рослина (зазвичай, бобова). Первинні консорції з автотрофними детермінантами безпосередньо беруть участь в зародженні нового ґрунтоутворювального процесу і сприяють створенню біогеоценотичних горизонтів.

Великі консортивні зв'язки в зоні корневих систем сприяють нормальному розвитку рослин, накопиченню великої кількості загальної фітомаси і інтенсивній біологізації природно-техногенних комплексів. В основі всіх цих явищ лежить взаємодія консортів один з одним, коли роль кожного організму по відношенню до іншого є суттєвим фактором навколишнього середовища. Через це в товщі природно-техногенних комплексів встановлюється численна кількість різноманітних консортивних зв'язків, характер яких визначається біологічними особливостями автотрофного детермінанта і екологічними можливостями природно-техногенних комплексів. Проте найважливіша роль консорцій полягає в тому, що вони сприяють утворенню в товщі гірських порід біогеоценотичних горизонтів, які є складовими біогеоценозів. Між біогеоценозами встановлюються взаємозв'язки з обміну живими організмами, енергією, органічними і мінеральними сполуками і т.д. Величезна різноманітність цих взаємодій і взаємозв'язків у товщі природно-техногенних комплексів пояснюється, насамперед, гетерогенністю їх складової частини. Тут навіть невеликий об'єм гірських порід може бути складеним породами з різними фізико-хімічними властивостями. Проте в цій неоднорідній товщі встановлюються радіальні і латеральні напрями (за Ю.П. Бялловичем, 1960), за якими здійснюються речовий і енергетичний зв'язки між окремими біогеоценотичними горизонтами.

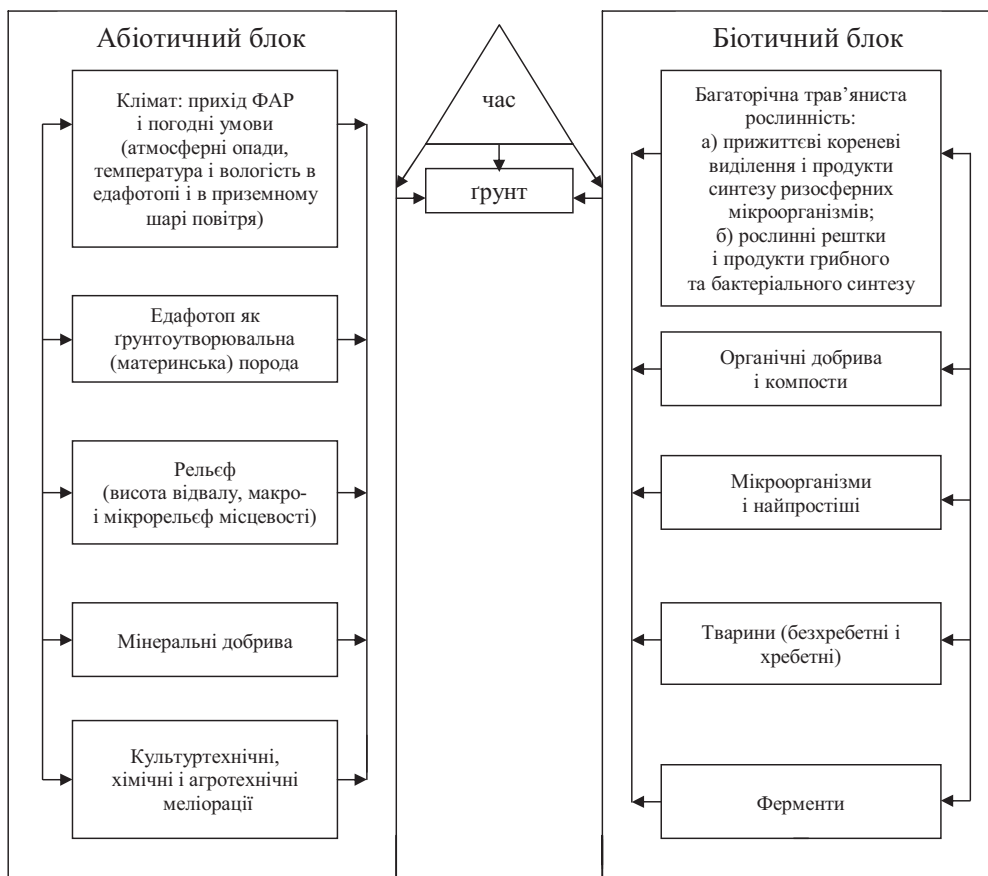


Рис. 2. Блок-схема взаємовпливу і взаємодії екологічних факторів на формування молодих ґрунтів техногенних екосистем

На рекультивованих землях виняткове значення мають радіалі верхньої 40-сантиметрової товщі природно-техногенних комплексів. Саме в цій товщі, де концентруються корені рослин, мікроорганізми, інші живі істоти та їх метаболіти, по косних і речових радіалях відбувається безперервний обмін речовин і енергії. Причому радіалі концентрують свою біогеоценотичну масу в поверхневому горизонті. Це і є першопричиною початку ґрунтоутворення з поверхні природно-техногенних комплексів, де міжбіогеоценозна міграція речовин, яка щільно пов'язана з рухом води і повітря, значно прогресує. Пізнання консортивних зв'язків, що з'являються в товщі природно-техногенних комплексів, є основою початку формування стійких агрофітоценозів,

що надзвичайно важливо у випадку здійснення біологічної рекультивації порушених земель.

Як показали багаторічні дослідження, еволюція молодих ґрунтів, що утворюються на відвалах кар'єрів, визначається двома блоками загальновідомих факторів, основні з яких представлені на рис. 2.

Таким чином, формування ґрунтів у порушеному середовищі за глибокого і детального розгляду являє собою комплекс надзвичайно складних і різноманітних екологічних факторів, взаємодія яких змінює властивості природно-техногенних комплексів. У цьому грандіозному процесі провідна роль належить мікроорганізмам і кореневій системі рослин, які є джерелом накопичення елементів ґрунтової родючості.

Висновки

1. Формування техногенних екосистем неминуче супроводжується утворенням у товщі едафотопів безлічі мікрозон, які інтенсивно заселяються аборигенними штамами мікроорганізмів і насінням рослин. Вони формують мікроборослинні формації, що є зачатками нового ґрунтоутворювального процесу.

2. Динаміка загальної чисельності мікроорганізмів обумовлена складним характером взаємозв'язків, що складаються в системі: розкриті гірські породи – мікроорганізми – корені рослин.

3. Пізнання фізико-хімічних властивостей едафотопів дозволяє визначити зміни в чисельності мікроорганізмів і намітити шляхи їх регулювання. Від цього залежить спрямований вплив ґрунтових мікроорганізмів на окультурення едафотопу, оскільки вони входять до його складу як абсолютно невід'ємна і разом з тим найменш вивчена частина.

4. Максимальна кількість мікроорганізмів налічується навесні. Надалі їхня чисельність зменшується і має флуктуаційний характер. Культурфітоценози сприяють збільшенню кількості мікроорганізмів, яка визначається ступенем відповідності біологічних особливостей рослинності екологічним умовам первинних екотопів.

5. Поділ загальної маси коренів на фракції надає уявлення про будову, поширення та розподіл кореневих систем у товщі едафотопів, що дозволяє визначити ту частину коренів, через яку здійснюється найбільше поглинання води і елементів живлення.

6. Виведені коефіцієнти, застосування яких допомагає отримати еколого-біологічну характеристику кореневих систем рослин, розкриває деякі особливості їх розвитку, відображає фізико-хімічні властивості окремих шарів едафотопів, сприяє пізнанню ґрунтоутворювального процесу, що виникає на рекультивованих землях.

7. Насиченість розкритих порід коренями прямо пропорційна їх масі, а поверхня кореневої системи та її протяжність є величинами, непов'язаними з масою коренів. І чим біліше екотоп поживними речовинами, тим більшу поверхню і довжину розвиває коренева система.

8. Транслокація (внутрішньотканинний перерозподіл речовин і енергії) відбивається у пластичності кореневих систем рослин. Це унікальна біологічна особливість багаторічних бобових трав, яка полягає в утворенні ними підземної частини такої структури і будови, які здатні забезпечити рослину елементами живлення та сформувати максимально можливий урожай в умовах складного екологічного середовища.

Бібліографія

1. Бабьева И.П. Практическое руководство по биологии почв / И.П. Бабьева, Н.С. Агре. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 140.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 329 с.
3. Звягинцев Д.Г. Методы учета численности микроорганизмов в почвах / Д.Г. Звягинцев // Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. – Л.: Наука, 1972. – С. 37–47.
4. Константинов П.Н. Основы сельскохозяйственного опытного дела (в полеводстве) / П.Н. Константинов. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 361 с.
5. Молостов А.С. Методика полевого опыта / А.С. Молостов. – М.: Колос, 1966. – 322 с.
6. О рекультивации земель в степи Украины: монография / [Н.Е. Бекаревич, Н.Д. Горобец, А.А. Колбасин и др.]; под ред. Н.Е. Бекаревича. – Днепропетровск: Промінь, 1971. – 218 с.
7. Сеги И. Методы почвенной микробиологии / И. Сеги. – М.: Колос, 1983. – 285 с.

8. Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем: монография / [И.Х. Узбек, А.С. Кобец, П.В. Волох и др.]; под ред. И.Х. Узбека. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 263 с.
9. Узбек И.Х. Метод вивчення кореневих систем рослин / И.Х. Узбек // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 10. – С. 27–30.
10. Узбек И.Х. Чисельність мікроорганізмів в товщі техноземів як екологічний фактор / И.Х. Узбек // Екологія та ноосферологія. – Т. 23, № 3–4. – К.; Дніпропетровськ, 2012. – С. 125–129.
11. Физико-химические методы исследования почв / [Д.В. Воробьева, Г.И. Глебова, Е.И. Горикова и др.]; под ред. Н.Г. Зырина, Д.С. Орлова. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 328 с.
12. Худяков Я.П. Периодичность микробиологических процессов в почве и ее причины / Я.П. Худяков // Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. – Л.: Наука, 1972. – С. 20–37.

Рецензент – доктор біологічних наук, професор Ю.І. Грицан