

БІОГЕОХІМІЯ ҐРУНТОГЕНЕЗУ НА ЛІТОЗЕМАХ ЯК ПОКАЗНИК СТАЛОГО РОЗВИТКУ СКЛАДНИХ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ

Проанализирован характер современного почвогенеза на рекультивированных литоземах зоны Степи Украины. Установлено, что под влиянием абиотических и биотических факторов в материнских породах интенсифицируются элементарные почвенные процессы и природные экоэнергетические переносы.

BIOCHEMISTRY OF SOILGENESIS ON LITHOZEM AS AN INDEX OF A STABLE DEVELOPMENT OF COMPLICATED TECHNOECOSYSTEMS

The nature of modern soilgenesis on recultivated lithozem of steppe zone of Ukraine is analysed. The elementary soil processes and natural ecoenergetic carryovers intensification under the influence of abiotic and biotic factors in a parent rock is fixed.

Рекультивація земель передбачає антропогенне формування техноземів (едафотоп з насипним родючим шаром ґрунту) і літоземів (складені нетоксичними геологічними породами пізнього пліоцен-плейстоценового періоду: лесоподібні суглинки, червоно-бура, сіро-зелена глина тощо).

Зональні чорноземи, як біолітогенне тіло природи, є продуктом тривалої тісної взаємодії абіотичних і біотичних чинників на материнську породу. Фактори ґрунтогенезу вперше апріорно визначено В.В. Докучаєвим [1]. Класик генетичного ґрунтознавства виділив п'ять чинників ґрунтогенезу: материнська порода, клімат, рослинний і тваринний світ, рельєф, вік країни та сформував закон природної зональності ґрунтів. Методологічною основою досліджень «четвертого царства природи» [1] є зональний (ландшафтний) та класичний профільно-генетичний (А+В+С) методи.

Функціональну залежність між чинниками ґрунтогенезу, їх речовинно-енергетичний вплив на материнську породу можливо вивчати в сучасних умовах на рекультивованих літоземах з урахуванням природної еволюції (самозаростання винесених на поверхню порід) та антропогенно спрямованого фітомеліоративного фактора. На нашу думку, такі дослідження доповнять і розширять значущість чинників в ґрунтоутворенні найбільш щільної, компактною «пленки життя» [2] на земній поверхні та сприятимуть проведенню фітоіндикації родючості літоземів.

Сучасний ґрунтогенез вивчали в багаторічних стаціонарних дослідженнях на рекультивованих літоземах Вільногірського ГМК і Орджонікідзевського ГЗК. Предметом дослідження були літоземи – «материнські породи», сформовані лесоподібними суглинками, червоно-бурою та сіро-зеленою глинами. Як тести на швидкість ґрунтогенезу на літоземах розглянуто зміну фізичних, водних, хімічних, мінералогічних, біологічних властивостей, продуктивність фітомаси при самозаростанні відвалів та врожайність сільськогосподарських культур у фітомеліоративних агроєкосистемах.

Сформовані літоземи слід розглядати як полідисперсні системи антропогенних материнських порід, які в міоцен-плейстоценовий період уже пройшли період «парагенезису» [3], фізичне та хімічне вивітрювання.

Мета дослідження: визначити особливості ґрунтоутворення в умовах техногенних ландшафтів степової зони України.

Об'єкт дослідження: літоземи (едафотопи) Запорізької біоекологічної станції моніторингу техногенних ландшафтів Придніпров'я.

Предмет дослідження: вплив біотичних та абіотичних факторів на інтенсифікацію ґрунтоутворення.

Як показали багаторічні дослідження, еволюція молодих ґрунтів, що утворюються на відвалах кар'єрів, визначається двома блоками загальновідомих факторів, основні з яких можна показати на простій блок-схемі (рис. 1).

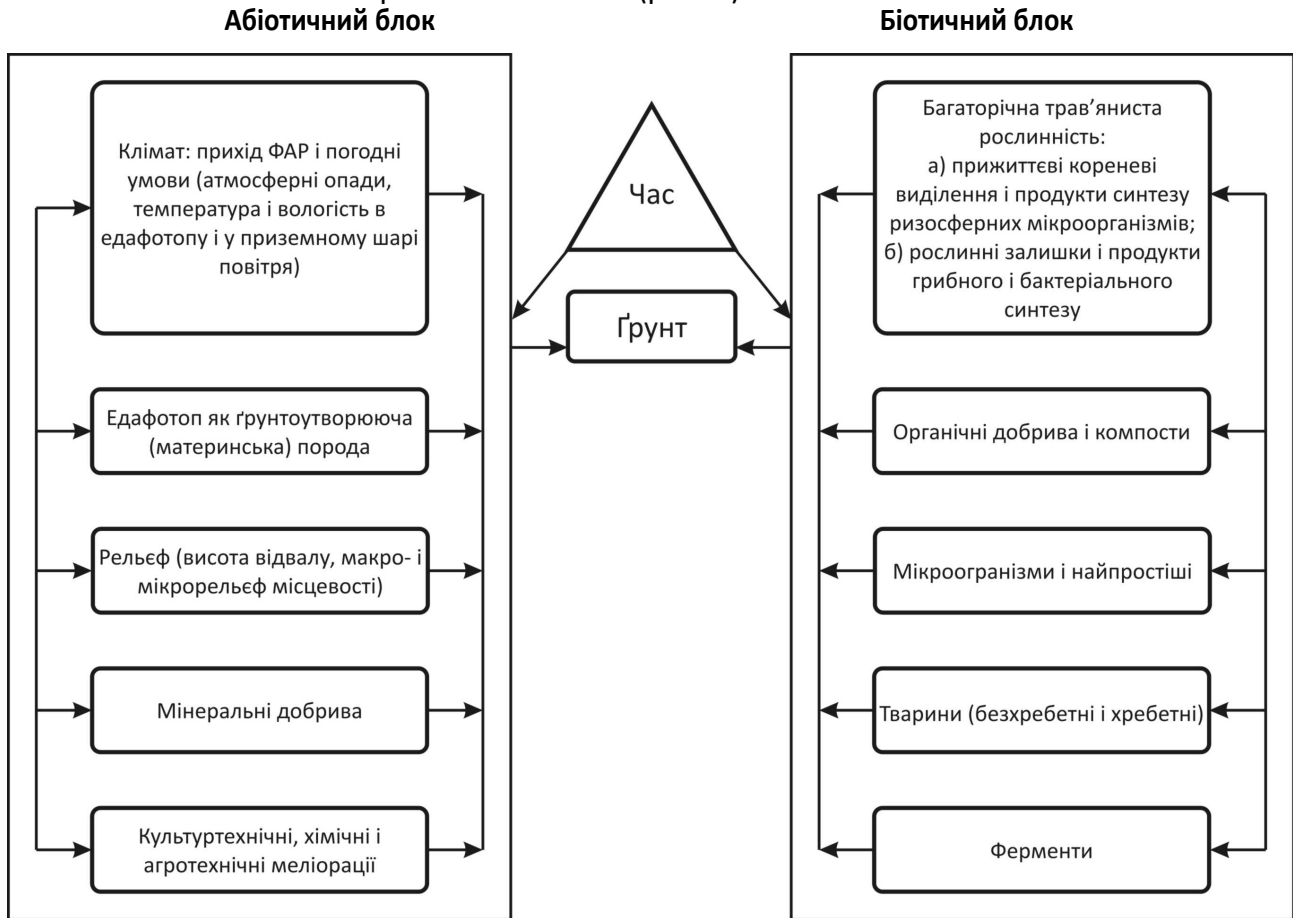


Рис. 1 – Блок-схема взаємовпливу і взаємодії екологічних факторів на формування молодих ґрунтів техногенних екосистем

Гранулометричний склад техногенних материнських порід – лесоподібнісуглинки, червоно-бура та сіро-зелена глини – змінюється з урахуванням їх геологічного віку.

Ґрунтогенна материнська порода, лесоподібні суглинки, товщиною 6-8 м і більше за селективної розробки кар'єрів змішується. Середній гранулометричний склад таких літоземів важко суглинковий муловато-пилуватий. У складі гранулометричних елементів домінують крупний пил (32,0-40,0 %) та мулиста фракція (34,0-37,0 %). Лесоподібні суглинки сильно карбонатні.

Червоно-бурі глини характеризуються легко- і середньоглинистим пилувато-муловатим гранулометричним складом. Фізична глина складає 75,4-77,35 %, а на мулисту і пилувату фракції припадає 53,16-54,16 % та 24,72-27,35 % відповідно.

Використані для формування літозему сіро-зелені карбонатні глини верхнього сормантського ярусу неогену вміщують 68,50-84,12 % фізичної глини і характеризуються легко- і середньоглинистим складом. Найбільш вагомою фракцією цього субстрату є мулиста (52,71-55,12 %).

Класифікація за гранулометричним складом ґрунтів Н.А. Качинського є суто генетичною і враховує степову, підзолисту і солонцювату генезиса. Під час оцінки розкривних порід, на наш погляд, головною ознакою слід вважати наявність в антропогенній материнській породі пилуватої та мулистої фракцій. Ступінь дисперсності (співвідношення фракції мулу та крупного пилу) літоземів збільшується у сіро-зелених глин у 10-13 разів в порівнянні з лесоподібними суглинками.

Придатність порід для формування літоземів за гранулометричним складом («бал бінітету» [4]) повинна проводитися не тільки за вмістом двох фракцій < 0,01 та > 0,01 мм.

Різноманітність показників основних параметрів фізичної глини (особливо мулистої фракції) та фізичного піску (пористість, зв'язність, пластичність, усадка, вологоємність, водопроникність, терміка, трофність тощо) зумовлюється геологічним станом та своєрідним співвідношенням твердої, рідкої, газової фаз (з плином часу і біоти) в «нуль-момент» [5] сучасного ґрунтогенезу.

На різних варіантах літоземів, коли породи повторно підлягають дії «процесов катагенеза–гіпергенеза, т.е. оказались на границе с атмосферой» [3], найбільший вплив на процеси агрегування будуть мати колоїди, півтораоксиди (Fe_2O_3 , Al_2O_3) та карбонати (CaCO_3).

Гранулометричний показник структури [6], найбільш повно характеризує потенційну здатність до агрегування антропогенних материнських порід. За нашими розрахунками, середній гранулометричний показник структури лесоподібних суглинків становить 52 %, а червоно-бурої та сіро-зеленої глини 152 і 278 % відповідно.

Мікроагрегатний аналіз порід за методом дослідників [6] показав, що в зразках, взятих з борта кар'єру, кількість брилистих агрегатів збільшується з глибиною: лесоподібні суглинки 22,5-54,4 %, красно-бура глина 70,0 %, сіро-зелена – 78,7 %. Кількість мікроагрегатів (< 0,25 мм) у таких субстратах не значна (1,1-3,5 %). У красно-бурої й сіро-зеленої глини макроструктура представлена в основному крупногоріхуватими округлими та плитчастими агрегатами. Коефіцієнт структурності [7] за результатами сухого просіювання для лесоподібних суглинків становить 2,2, червоно-бурої та сіро-зеленої глини 1,2 і 1,0 відповідно.

У ґрунті, складеному з макроструктурних агрегатів, які під дією води не руйнуються чи частково розпадаються на мікроагрегати, створюються добрі водно-фізичні умови. Безструктурний едафотоп запливає в разі зволоження, погіршується аерація, а за підсихання на його поверхні утворюється кірка.

Н.А. Качинський відзначив, що не кожна водотривка структура виявляється агрономічно цінною. Водотривка структура має подвійну природу: «1) по типу неразмокаемости, в результате стойкого химического и физико-химического закрепления коллоидов ...; 2) в силу отсутствия водопроницаемости, что отмечается в комках, лишенных активных пор или слабой их выраженности» [8].

Визначення водотривкості породних агрегатів проводили за методом М.О. Бекаревича [9]. Автор методу вказує, що «...фракционный способ агрегатного анализа позволяет более объективно произвести оценку прочности структурных отдельностей. Способ устанавливает природу прочности структурных комков и величину водопрочности, ... является особенно перспективным при изучении почв с неблагоприятными свойствами».

Середня кількість водотривких агрегатів у лесоподібних суглинках з борта кар'єру, залежно від розмірів макроагрегатів, склала 0,9-4,1 %, красно-бурої та сіро-зеленої глини 64,6-79,8 та 68,3-88,1 % відповідно. Зазначимо, що кількість водотривких агрегатів збільшується зі зростанням розміру макроструктури. Висока водотривкість порід неогенової системи зумовлена щільним пакуванням її мікрочасток, що безперечно пов'язано з їх генезисом. У червоно-бурих глини висока водотривкість макроагрегатів зумовлена також вмістом оксиду заліза, який на поверхні елементарних комків створює «корочку или пленку» [10], що сповільнює проникнення в них води.

Таким чином, поняття і сутність гранулометричного складу та структури розкритих порід, які стають материнським антропогенним субстратом, мають поліфункціональне значення – екологічне, меліоративне, агрономічне, генетичне.

За селективної транспортно-відвальної системи розкритих робіт необхідно враховувати дані гранулометричного складу та структурності порід. У такому разі з'являються технічні можливості докорінно змінити важкі породи «піскуванням» («лесуванням»), а легкі, навпаки, «глинуванням». В екологізованих проектах (моделях) техногенезу поінформованість щодо гранулометричного і агрегатного складу сприятиме контролюваному перебігу ґрунтоутворних процесів (екологічне, агрономічне значення) в рекультивованих літоземах.

Літоземи, сформовані в техногенних ландшафтах різними надрудними породами в чистому вигляді, слід розглядати як незамкнені антропогенні системи. Властивості таких термодинамічних систем визначаються зміною параметрів (тиск, температура і об'єм) на поверхні та в геологічній товщі залягання порід.

Термодинамічні характеристики мінеральної частини літоземів показали, що запаси внутрішньої енергії в лесоподібних суглинках, червоно-бурій та сіро-зеленій глинах менші порівняно зі зональними чорноземами [4, 11, 12]. Це дає можливість констатувати, що кристалічні системи (решітка) порід менш стійкі, легко руйнуються, більш реакційноспроможні та є сприятливими для ґрунотворення.

О.Є. Ферсман, аналізуючи «блестящие по краткости и ясности тезисы К.К. Гедройца» про ґрунтові колоїди, дав енергетичне доповнення закономірностям обмінних реакцій: «величина поглощения или вытеснения есть функция валентности катиона и его атомного веса, а ... пропорциональность поглощения будет ... следовать пропорциональности радиуса ионов извлекаемых или замещаемых веществ» [3].

Проводячи загальний огляд «колоїдальних систем гіпергенеза», О.Є. Ферсман визначив, що «наиболее типичные коллоиды для следующих элементов: Si, Al, Fe, Mn, P ...» [3].

Аналізуючи дані валового хімічного чорноземів на лесах, Д.Г. Тихоненко зі співавторами [5] дійшов висновку, що суто ґрунтові хімічні перетворення, які відбуваються в материнській породі з урахуванням умов ґрунтогенезу, пов'язані в основному зі солями кремнієвої та алюмокремнієвої кислот, а також із сполуками півтораоксидів Al_2O_3 і Fe_2O_3 . Кількість SiO_2 в пахотному шарі чорнозему південного, чорнозему звичайного і чорнозему типового збільшується відповідно на 5,1; 7,4 та 12,1 % порівняно з материнською породою. Така ж тенденція зберігається для відношення $SiO_2 : R_2O_3$.

Середній елементарний склад лесоподібних суглинків, червоно-бурої та сіро-зеленої глини [17], а також співвідношення оксиду кремнію і півтораоксидів, які безперечно зумовлені генезисом порід, будуть визначати цілісні процеси (мінералізація, гуміфікація, міграція речовин тощо) в сучасному ґрунтогенезі на літоземах.

Класики геохімії [2, 3] та ґрунтознавства [5] стверджують, що елементарні процеси гіпергенезу і ґрунотворення є надскладними і різноманітними. К.Д. Глінка встановив поступовий процес розпаду алюмосилікатів, які аналогічно фосфатам можуть зберігати кристалічну будову, чим підтвердив явище електрофорезу в колоїдних системах [13].

Роль світла в ґрунотворенні практично не вивчалася. Теоретична сутність та агрономічне значення променевої енергії Сонця визначається впливом на біогеофізичні та хімічні процеси в ґрунтах. М.І. Лактіонов встановив, що ультрафіолетові промені викликають фотоокиснення частини активного гумусу, знижують інгібуючу дію та ферментативні процеси в ґрунті [14].

Екологічна роль сонячної радіації в ґрунтогенезі обумовлюється фотохімічними реакціями та тепловим балансом підстильної поверхні літоземів.

Середньобагаторічне значення сумарної ФАР для зони Степу становить 2374 МДж/м^2 , у т.ч. за квітень–вересень 75 %. Якщо 30 % променевої енергії витрачається на випаровування, 50 % – на потік тепла між підстильною поверхнею і шарами літоземів, розміщених вглиб техногенного едафотопу, то приблизно $800\text{--}830 \text{ МДж/м}^2$ видимого випромінювання чинять енергетичний, каталітичний і біосинтетичний ефект.

Фізіологами найбільш яскраво демонструються біохімічні процеси, які «розігруються» в процесі фотосинтезу в рослинах. Співвідношення між кількістю поглиненої енергії у фотохімічних реакціях і кількістю прореагованих речовин виражається законом [15]. Більшою енергією і більшою хімічною активністю володіють коливання з меншою довжиною хвилі. Частка ультрафіолетового спектра (100–390 нм) в середньому становить 8 %, видимого (390–760 нм) – 56 % енергії короткохвильової радіації. Максимальна інтенсивність випромінювання припадає на хвилі завдовжки 470 нм, для світла з цією довжиною хвилі енергія дорівнює $\approx 4,1 \cdot 10^{-12}$ ерг. Цікаво відзначити, що середня кінетична енергія окремої молекули газу досягає вказаного значення тільки за температури

20000 °C! Іншими словами (наскільки це коректно з точки зору термодинаміки): «робота» навіть соті частки одного відсотка ультрафіолетового світла за травень в енергетичному еквіваленті дизельного палива дорівнює 59 л, якого вистачить для проведення глибокого зяблевого обробітку 1 га два рази.

Фотохімічна дія на антропогенні материнські породи буде зумовлена частково інфрачервоними променями, які викликають теплові ефекти, та ультрафіолетовим і видимим спектром (280-470 нм) що зумовлять фотохімічну інактивацію колоїдних систем літоземів. У техногенних едафотопах «чистому» перебігу фотохімічних реакцій перешкоджають, по-перше, ефект екранування, а по-друге, зворотні хімічні процеси і темнові реакції. Це значною мірою заважає проведенню кількісної оцінки фотохімічних процесів у ґрунтотворному процесі.

Якщо прийняти кількість енергії для спектра 280-470 нм у середньому 100 ккал/г-атом, а ефективність збудження фотохімічних реакцій в породах тільки 1 %, то за вегетаційний період (квітень–вересень) у поверхневому шарі антропогенних порід накопичується енергії $8,2 \cdot 10^6$ термохімічних кілокалорій, які можуть інактивувати 1312 кг кисню чи 1476 кг води [15]. Така кількість головних чинників хімічної активності O_2 і H_2O здатна колосально впливати «на зв'язь неорганічного круговороту речовин з процесами органічної життя» [2] в сучасному ґрунтогенезі на літоземах.

Процес зміни хімічного складу антропогенних материнських порід, особливо у верхньому шарі, значно посилюється в результаті інтенсивного сучасного хімічного вивітрювання, яке пов'язане з гідролізом, окисненням і виникненням великої різниці окисно-відновлювального потенціалу. Наші дослідження, а також інших учених [16] показали, що лесоподібні суглинки та сіро-зелена глина мають більш лужну реакцію водної фази (вимірювання *in situ* в шарі 0-10 см) порівняно з червоно-бурою глиною. У техногенних породах за показниками концентрації H_2 переважають процеси окиснення, що безперечно буде впливати на рухомість та міграційну здатність хімічних елементів. М.М. Харитонов, Л.М. Рева встановили, що в амонійно-ацетатну витяжку порід переходить макро- і мікроелементів в 62-64 рази більше, ніж з водною, а окисно-відновлювальний потенціал літоземів знаходиться в межах 475-507 мВ [16]. Відзначимо, що зміна окисно-відновлювального режиму в едафотопах протягом доби, сезону зумовлює процеси активності фізико-хімічних і хімічних реакцій, які постійно відбуваються в породах.

Літоземи, як екологічне середовище для самозаростання і вирощування культурних рослин, характеризуються специфічним поживним режимом, який відрізняється від блока зональної ґрунтової родючості та з плином сучасного ґрунтогенезу буде еволюційно змінюватися.

Нами встановлено, що в «нуль-момент ґрунтогенезу» [5] вміст органічної речовини та пов'язаного з нею мінерального азоту в літоземах вкрай низький («сліди»). Винесені кар'єрними розробками на поверхню породи в 2,0-3,5 рази менше забезпечені валовим фосфором, ніж зональні чорноземи. Оцінку фосфатного режиму літоземів, ми вважаємо, треба проводити не тільки валовими запасами, а і фракційним складом мінеральних сполук (водорозчинні, Al-, Fe- і Ca- фосфати). Калійний режим техногенних материнських порід, з урахуванням того, що всі форми калію беруть участь у мінеральному живленні рослин, не лімітує їх ріст і розвиток.

Якщо розглядати літоземи як антропогенну ґрунтогенну систему, то її розвиток буде здійснюватися як за рахунок і абіотичних, і біотичних факторів. Природна реальність формування піонерних, а з часом, складних фітоценозів на надрудних породах Нікопольського марганцеворудного басейна найбільш детально обґрунтована М.Т. Масюком [17]. На відвалах лесоподібних суглинків через чотири роки продуктивність біомаси в складних фітоценозах досягає рівня зональних біогеоценозів. Зімкнені фітоценози на червоно-бурій та сіро-зеленій глинах формуються на 6-8 та 8-11 рік відповідно, а їх продуктивність змінюється від 24,5 до 39,6 ц/га. На перших етапах біологічної рекультивациі літоземів важлива екологічна роль належить бобовим агроценозам.

На Запорізькій біоекологічній станції моніторингу техногенних ландшафтів степового Придніпров'я з 1970 р. та на дослідному стаціонарі Верхньодніпровського ГМК з 1977 р. проводяться стаціонарні дослідження, які дозволили простежити основну «... совокупность процессов зоны гипергенеза, в которых геохимические процессы тесно связаны с энергией живого вещества» [3].

Фундатор генетичного ґрунтознавства В.В. Докучаєв [1] розкрив тісний зв'язок походження чорноземів з фітоценозами: «... всякая растительная почва, всякий чернозем всегда образовывались и будут образовываться на любой коренной породе ...».

У біотичному блоці факторів ґрунтогенезу на антропогенних материнських породах нами вивчено вплив багаторічних агросукцесій та мікроорганізмів на формування сучасних «молодих» ґрунтів. Ці біогенні джерела найбільш повно об'єднують величезний безупинний обмін речовин і енергії в техногенних літоземах. Зазначимо, що кореневі системи рослин, які за вагою мають форму трикутника з вершиною вглиб літоземів, виконують біогеохімічну роботу – природну підсилену концентрацію у верхню (0-40 см) частину порід «42 циклических элементов», які академік В.І. Вернадський назвав «геохимической энергией жизни» [2].

Наші дослідження показали, що на лесоподібних суглинках середня урожайність сіна люцерни у фітомеліоративному агроценозі за 1977-1980 рр. становила 128,6 ц/га, за сім років (1984-1990 рр., у рік сівби господарський урожай не враховували) – 308,8 ц/га. На третинних материнських породах (червоно-бура та сіро-зелена глини) продуктивність сіна люцерни за чотири роки (1971-1974 рр.) дорівнювала 135,2 та 173,2 ц/га відповідно.

Наголосимо, що в 4- та 7-річних фітомеліоративних екосистемах середньорічна та особливо сумарна господарська продукція (ц/га) була значно вищою (у 2-8 разів), ніж фітопродуктивність складних піонерних фітоценозів у процесі самозаростання відвалів.

Провідна роль у сучасному антропоґрунтогенезі належить бобовим фітомеліорантам, здатним самостійно створювати органічні речовини з неорганічних сполук, а також асимілювати азот атмосфери. Найбільш дієвим фактором змін в абіотичному середовищі є коренева система люцерн. На другому і в наступні роки життя люцерни посівна в метровому шарі антропогенних материнських порід формує на лесоподібних суглинках (60,6-98,8) ц/га³, на червоно-бурій та сіро-зеленій глинах відповідно (85,7-105,4) та (77,9-81,4) ц/га³ сухих коренів. У фракційному складі кореневої системи (> 5 мм; 5-1, 1-0,5; < 0,5 мм) частка врахованих коренів менше 0,5 мм на лесоподібних суглинках становила в середньому 31 %, на червоно-бурій і сіро-зеленій глинах – 49 і 45 % відповідно. Тонкі кореневі волоски люцерни складаються з кореневого чохла, зони поділу клітин (мерістема) та зони розтягу. Довжина корневих волосків $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ м, діаметр $5 \cdot 10^{-6}$ м, на 1 мм² поверхні кореня їх може бути до 100 шт. [18]. Значна частина (імовірно 80 % і більше) корневих волосків нами не врахована, бо за багаточасового відмивання у двошаровому марлевому мішечку вони були порозміщувані.

У кореневій системі люцерни концентрується на породах (114,6-271,9) кг/га³ азоту, (19,0-38,2) Р₂О₅, (33,6-71,5) К₂О та (84,8-191,2) кг/га³ СаО. Ці валові кількісні показники еколого-біогеохімічно значові, оскільки антропогенні материнські породи вміщують дуже малі, на межі повної відсутності, такі біогенні елементи, як азот та фосфор.

Біогеохімічна роль люцерни не може бути оцінена тільки масою кореневої системи та її хімічним складом. Найбільшу частку в біологічному кругообігу хімічних елементів у системі порода-рослина становить кореневий кругообіг, який супроводжується «процессами поглощения и выделения элементов живыми организмами» [19].

З урахуванням показника періоду кругообігу [19], який становить для фосфора 10-15 діб, кальцію – 1,2-1,5, заліза – 1,2, марганцю – 28, цинку – 20 діб, біогеохімічна робота люцерни в десятки разів більша, ніж така, що оцінена продуктивністю та хімічним складом рослин [19, 20]. В.В. Снакін встановив, що виділені рослиною в едафотоп хімічні елементи хімічно змінені порівняно з поглиненими формами сполук.

Особливий фітомеліоративний ефект на літоземах досягається за рахунок «біофабрику азоту» – бобово-різобіального комплексу люцерни посівної. На другому, і особливо

в наступні роки життя люцерни, у двометровому шарі порід на 1 га тільки врахована кількість бульбочкових бактерій сягає $3,2-3,4 \cdot 10^9$ шт. Розрахунки показують, що в люцерновому агроценозі симбіонти *Medicago sativa* + *Rhizobium* у шарі 0-200 см динамічно виробляють на одному гектарі в середньому 42 т сирих бактероїдів (є припущення, що ця цифра нами занижена щонайменше на 40 %). З урахуванням середнього хімічного складу клітини та вмісту білкових речовин (N – 15-18 %), люцернова «біофабрика» тільки за один вегетаційний період має господарський ефект біологічної фіксації азоту бульбочковими бактеріями 2200 кг/га, а збагачення ним літоземів становить у середньому 350 кг/га [18]. Фітомеліоративний ефект 3-5-річного вирощування люцерни посівної на літоземах виражається біологічним внесенням азоту в перерахунку на аміачну селітру 3,0-5,0 т/га.

Підкреслимо, що у бобових рослин фіксація N_2 та CO_2 , їх перетворення, розподіл і перерозподіл асимілятів між органами рослин пов'язані з великими витратами органічних сполук. На 1 г біологічно фіксованого азоту бобові рослини витрачають 12 г органічного вуглецю [18]. Виходячи з цього, біогенна акумуляція органічного вуглецю, який входить до азотовмісних карбонових сполук, сприяє більш швидкому (в 12 разів) поповненню порід функціональними карбоксильними одиницями та зародженню циклічних фрагментів (ядерні, периферійні) різних суто ґрунтових гумусових речовин, які утворюються під час розкладання коренів люцерни посівної.

Акад. В. Іпатьєв відзначав, що «...мириады микроорганизмов ..., которые мы находим во всякой почве, своей жизнедеятельностью порождают те химические процессы, благодаря которым, по всем вероятностям, обеспечивается плодородие почвы» [21].

Величезна більшість хімічних реакцій в живих організмах перебігає за участі біологічних каталізаторів-ферментів. Мізерно мала кількість ферментів спроможна розщеплювати величезну кількість реагуючих речовин. Фермент пероксидаза, який посилює окиснення субстрата за рахунок H_2O_2 , проявляє свою активність при розбавленні однієї масової частини фермента в $5 \cdot 10^8$ масових частинах води. Енергія активації фермента каталога надвелика: одна молекула каталога за 1 секунду спроможна розщепити 10^4 молекул H_2O_2 . Абсолютною специфічністю володіє фермент уреаза – гідролізує тільки сечовину на аміак і вуглекислий газ.

Дослідженнями встановлено, що у свіжовідсипних породах ферменти відсутні [22]. Згодом (8-10 років) у шарі 0-20 см аналізами визначається наявність ферментів до рівня ферментативного пулу. Після 30-річного перебування порід у паровому стані поверхневий шар літоземів має бідний ступінь збагачення гідролітичними ферментами. Під люцерновим культурфітоценозом у літоземах встановлено значне посилення процесу накопичення ферментів, а їх кількість досягала рівня середнього ступеня збагаченості. Гідролітичні ферменти за своєю активністю розміщуються у такий спосіб: фосфатаза-інвертаза-уреаза.

Найбільш чисельну групу мікроорганізмів у літоземах під люцерновою агроекосистемою становлять олігонітрофіли. Розрахунки показали, що в ризосфері коренів люцерни (шар 0-20 см) маса олігонітрофілів становила на лесоподібних суглинках 229,3 кг/га, у червоно-бурій і сіро-зеленій глинах – 296,0 та 240,1 кг/га відповідно. Олігонітрофільні мікроорганізми, хоч і фіксують незначну кількість біологічного азоту (23-42 кг/га) за вегетаційний період, але відіграють важливу роль у формуванні чисельних консортивних зв'язків у біотичному комплексі антропогенних материнських порід.

У фітомеліоративних сівозмінах на літоземах біогеохімічний кругообіг речовин відбувається інтенсивніше і в значно більшому об'ємі порівняно з самозаростанням порід. За 7-річний період вирощування люцерни з урахуванням фітобіоорганіки: пожнивні рештки і отава – на рівні (25-30) ц/га, прижиттєвого «коренепадку» – (23-30) % від маси коренів [23], кореневих виділень – (20-40) % від загальної біомаси [24], маси мікроорганізмів з урахуванням 5-7 генерацій за вегетаційний період – (38,9-66,1) ц/га [22], ґрунтової фауни – 0,3 ц/га [5], бульбочкових бактерій – 42 ц/га, коренів люцерни посівної –

(66,2-83,7) ц/га [22] до біогеохімічного кругообігу, який відіграє величезну роль в детритовому ланцюзі гуміфікацій та гумусоутворення, залучається органічної речовини (247-322) ц/га³. У процесі гуміфікації в полідисперсних породах виконується «біоробота», яка трансформується в хімічну і теплову енергію, що зумовлює зміну мінеральної частини літоземів за рахунок біохімічного вивітрювання.

Нами визначено величезний фітомеліоративний ефект люцернового агроценозу. Приріст урожаю озимої пшениці у фітомеліоративних сівозмінах на літоземах 5 років люцерна – чорний пар – озима пшениця становив (34,0-39,4) ц/га (середній урожай на породах без посіву люцерни 8,4 ц/га). За даними С.Ф. Петренко [25], на лесоподібних суглинках у ланці сівозміни 4 роки люцерна-кукурудза на зерно, ярий ячмінь урожайність зернових культур становила 58,4 ц/га і 27,2 ц/га відповідно, в ланці сівозміни 3 роки люцерна – чистий пар – озима пшениця урожайність сіна люцерни дорівнювала 189,8 ц/га (за 6 укосів), озимої пшениці 31,4 ц/га.

У багаторічних дослідках на літоземах закладених нами в 1971 р. [26] і продовжених за 29 років сумарна продуктивність надземної вегетативної маси і зерна (люцерна посівна, озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза на зерно, горох на сіно, бобово-тонконогова суміш) складала (186,2-350,0) т/га. Розрахунки показали, що в материнські антропогенні породи з поживними і кореневими рештками за період сільськогосподарського освоєння надійшло (1801-3037) ГДж/га енергії, залежно від структури культур фітоценозів [4]. Зазначимо, що в процесі розкладання фітогенних решток і накопичення детриту значна частина енергії біогенних решток втрачається. Фізико-біологічні процеси (тління, гниття, бродіння) розкладу за участі мікроорганізмів є процесами екзотермічними.

Спрямованість і інтенсивність біохімічних процесів у пахотному шарі техногенних літоземів залежить від активності гідролітичних і окисно-відновлювальних ферментів. Високе відношення інвертази до каталази в «товщі едафотопів» [22] свідчить про те, що в літоземах превалюють реакції гідролізу складних органічних сполук з вивільненням доступних для рослин компонентів мінерального живлення. Біоактивні органічні речовини, продукти їх розпаду та мінералізації збагачують антропогенні материнські породи високомолекулярною азотовмісною гумусовою субстанцією, яка в літоземах утворює нові органо-мінеральні сполуки. Важлива роль в цих процесах належать високоенергетичній біомасі корневих виділень, «коренепадку» та мікроорганізмам, які впливають на накопичення детриту та гумусоутворення. Незважаючи на відносно невелику питому вагу цих компонентів у літоземах, потрібно враховувати їх значно вищий якісний рівень. Наприклад, хімічний склад бактерій на (40-70) % представлений білками ферментами (найбільший високоспецифічний клас структурованих білків) [5]. Дослідженнями підтверджено, що целюлозоруйнівні мікроорганізми активно виділяють амінокислоти [27]. У культуральному розчині виявлено 20 амінокислот, із них у бактерій – 12, у актиноміцетів – 18 і у грибів – 6. Найбільш часто зустрічалися аланін, елютамінова, аспарагінова амінокислоти, лізин, гістидин тощо. З первинних амінокислот аміак може засвоюватися рослиною [18].

На основі аналізу сучасних «гіпергенних процесів» [3] на рекультивованих літоземах, особливостей формування природних фітоценозів [17] та отриманих нами даних в агрокультурі на літоземах можна зробити висновок: взаємодія абіотичних і біотичних (антропогенних та природних) чинників зумовлює швидкоплинний, інтенсивний ґрунто-творний процес. Під інтенсивністю сучасного ґрунтогенезу ми розуміємо швидкість зміни концентрації біогенних елементів у літоземах за рахунок фітомеліорації. Крім того, на материнських антропогенних породах люцерна посівна та мікроорганізми є основою створення первинних консортивних зв'язків в едафотопі і виконують підвищену середовище-перетворювальну функцію. За надкороткий еволюційний період – 4-7 років (чинник часу) – в літоземах люцернова агросукцесія формує головний якісний показник «молодого» ґрунту – родючість. За рахунок бобоворізобіального комплексу та мікроорганізмів – редуцентів в антропогенних материнських породах – концентруються макро- та мі-

кроорганогенні елементи, інтенсифікуються елементарні ґрунтові процеси і природні екоенергетичні переноси, формується трофність літоземів, що зумовлює специфічний швидкоплинний ґрунтогенез.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Докучаев В.В. Русский чернозем / В.В. Докучаев – М.-Л.: Огиз-сельхозгиз, 1936. – 529 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский – Л.: Наука, 1967. – 216 с.
3. Ферсман А.Е. Геохимия / А.Е. Ферсман – Л.: Онти-химтеорет, 1934. – Т. 2. – 354 с.
4. Забалуев В.А. Формирование устойчивых агроэкосистем на рекультивированных землях: эдафическое обоснование // Устойчивое развитие сложных экотехносистем: М.-Днепропетровск, 2005. – С. 177-312.
5. Ґрунтознавство: Підручник/ Д.Г. Тихоненко та ін. – К.: Вища освіта, 2005. – 703 с.
6. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
7. Ревут И.Б. Физика почв. – Л.: Колос, 1972. – 366 с.
8. Качинский Н.А. Структура почвы. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – 89 с.
9. Бекаревич Н.Е. Материалы к новой методике определения агрегатов почв // Труды Днепропетровского СХИ. – Днепропетровск, 1948. – Т. 3. – С. 149-159.
10. Тюлин А.Ф. Вопросы почвенной структуры // Почвоведение. – 1965. – № 1. – С. 33-44.
11. Волобуев В.Р., Пономарев Л.Г. Некоторые термодинамические характеристики минеральных ассоциаций почв // Почвоведение. – 1977. – № 1. – С. 3-13.
12. Сытник С.В. Энергетические аспекты сельскохозяйственной рекультивации серо-зеленых глин Никопольского марганцеворудного бассейна // Рекультивация земель. – Днепропетровск, 1987. – С. 38-47.
13. Глинка К.Д. Новейшие течения в почвоведении // Почвоведение. – 1970. – № 1. – С. 25.
14. Лактионов Н.И. Закономерности трансформации коллоидов при их сельскохозяйственном использовании: Автореф. дис. ... док. с.-х. наук. – Харьков, 1974. – 35 с.
15. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. – М.: Издательство «Химия», 1978. – С. 494.
16. Харитонов Н.Н., Рева Л.Н. Окислительно-восстановительное состояние и подвижность минеральных элементов в почвообразующих породах Орджоникидзевского ГОКа // Рекультивация земель. – Днепропетровск, 1987. – С. 48-53.
17. Масюк Н.Т. Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных породах в местах произведенной добычи полезных ископаемых // Рекультивация земель. – Днепропетровск, 1974. – С. 62-105.
18. Макрушин М.М. та ін. Фізіологія рослин. – Вінниця: «Нова книга», 2006. – 416 с.
19. Снакин В.В. Анализ круговорота химических элементов в системе почва-растение // Почвенно-биогеоценологические исследования центральной Русской равнины. – М.: МГУ, 1980. – С. 112-196.
20. Летова А.Н. Экспериментальное исследование роли растений в миграции химических элементов. – Автореф. дис. ... канд. биолог. наук. – М., 1970. – 23 с.
21. Ипатьев В. Каталитические явления в природе. – Петроград, 1922. – С. 10-11.
22. Узбек И.Х. Еколого-біологічна оцінка едафотопів техногенних ландшафтів степової зони України. – Автореф. дис. ... док. біолог. наук. – Дніпропетровськ, 2001. – 36 с.
23. Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв. – М.: Высш. школа, 1981. – С. 55.
24. Бабьева Г.М., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Издательство МГУ, 1989. – С. 211.
25. Петренко С.Ф. Результаты производственных опытов с различными сельскохозяйственными культурами в фитомелиоративных севооборотах на рекультивированных землях // Рекультивация земель. – Днепропетровск, 1987. – С. 105 – 111.
26. Узбек И.Х., Горобец Н.Д. Опыт возделывания многолетних бобовых трав на третичных глинистых отложениях // Рекультивация земель. – Тарту, 1975. – С. 174-180.
27. Наплекова Н.Н., Сафронова Л.Г. Синтез аминокислот целлюлозоразрушающими микроорганизмами и их спутниками // Микробиология – народному хозяйству. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 122-131.