

ПОХОДЖЕННЯ, СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ҐРУНТУ

Склад органічної частини ґрунту

Органічна частина ґрунту складається з органічних решток та гумусу. Сам гумус або перегній ґрунту це те, що важко відділити від мінеральної частини ґрунту звичайними методами. Він складається з негумусових речовин органічних решток, проміжних продуктів їх розпаду та власне **гумусових речовин** - системи високомолекулярних азотовмісних органічних сполук циклічної будови кислотної, колоїдної природи, яка зумовлює їх взаємодію з мінеральною частиною ґрунту і закріплення в ній. В деяких підручниках до органічної частини ґрунту віднесено ще й живу біомасу.

В більшості мінеральних ґрунтів негумусових речовин в гумусі не більше 10-15%. Лише в торфах та лісових підстилках вони складають 50-80% від цієї маси органічних сполук. Група негумусових речовин представлена білками, вуглеводами, лігніном, ліпідами, смолами, дубильними речовинами та іншими різноманітними продуктами їх часткового розкладу.

Власне гумусові речовини (або, як їх ще називають, речовини специфічної природи), в свою чергу, складаються з двох основних груп гумусових кислот: темноколірних **гумінових кислот** та світлозабарвлених **фульвокислот**, більш рухомих, які легко мігрують по профілю ґрунту.

Низка дослідників виділяють ще й третю групу гумусових сполук - **гуміни**, що є комплексом гумінових та фульвокислот, дуже міцно зв'язаним з мінеральною частиною ґрунту. їх ще називають **нерозчинним залишком**.

Зелені рослини - основне джерело органічної речовини ґрунту

Потенціальним джерелом органічної частини ґрунту слід вважати всі компоненти біоценозу. Але в переважній більшості наземних біоценозів зелені рослини (автотрофи) мають найбільшу біомасу, щорічний приріст, наземний та кореневий опад. Тому саме вони дають основний матеріал для формування органічної частини ґрунту. Щоправда, специфічний хімічний склад мікроорганізмів та тварин, високий вміст в них білків визначають і їх помітну роль в збагаченні органічної частини ґрунту азотними компонентами.

За даними І.В.Тюріна, органічні рештки мікроорганізмів складають лише біля 1/3 від біомаси решток зелених рослин, а решток фауни накопичується в ґрунті дуже мало - 100-200 кг/га сухої речовини. Так що основним джерелом

органічних речовин, з яких утворюється гумус є залишки зелених рослин - їх наземний опад та кореневі рештки.

В орних ґрунтах джерелом утворення гумусу є пожнивні та кореневі рештки культурних рослин, органічні добрива (1 т гною може дати ґрунтові 40-60 кг гумусу).

В лісових ґрунтах основним джерелом формування гумусу є підстилка, оскільки корені дерев багаторічні і їх участь в утворенні гумусу невелика.

Під трав'янистою рослинністю основним джерелом утворення гумусу є корені, маса яких в метровому шарі ґрунту складає в зоні степів 8-28 т, на суходольних луках 6-13 т/га. Під багаторічними травами в метровому шарі накопичується від 6 до 25 т/га коренів, а під однорічними культурними рослинами - 3-5 т. Таким чином, рослинний опад - основна енергетична база ґрунотворного процесу, а гумус, що утворюється з нього - акумулятор значної кількості енергії (десь близько 20 кдж/г).

Хімічний склад опаду та його значення в гумусоутворенні

Дуже важливе значення для гумусоутворення має хімічний склад опаду. Залишки трав'янистої рослинності, особливо бобових рослин, що розкладаються безпосередньо в товщі ґрунту при наявності значної кількості зольних елементів, насамперед кальцію, утворюють гумус, який рівномірно розподілений між мінеральною частиною ґрунту. Таким же гумус може утворитися і в ґрунтах під листяними лісами з інтенсивною діяльністю ґрунтової фауни.

Рештки деревної рослинності, особливо шпилькової, бідної на білок, зольні елементи, але збагаченої на лігнін, воски і смоли потрапляють в лісі на поверхню ґрунту. Вони розкладаються в умовах наскрізного промивання при участі грибів з утворенням великої кількості органічних кислот, які в свою чергу сприяють інтенсивному вилуговуванню кальцію з ґрунту. Кисла реакція уповільнює розвиток гуміфікації і на поверхні ґрунту утворюється **грубий гумус**, що містить багато напіврозкладених решток. Чим більше у рослинних рештках міститься сполук, що легко розщеплюються мікроорганізмами, чим менше величина відношення C:N, тим інтенсивніше відбувається процес їх мікробіального розкладу.

М'який гумус, що утворюється під травами, називається «**муль**», а **грубий**, під шпильковими лісами - «**модер**».

Напрямок та інтенсивність гумусоутворення залежить не лише від хімічного складу решток та відношення C:N. Дуже впливає на них механічний

склад ґрунтів та їх фізико-хімічні властивості. У ґрунтах легкого механічного складу, особливо піщаних та супіщаних органічні рештки розкладаються значно швидше, ніж у ґрунтах важкого механічного складу. Більша частина органічних решток мінералізується повністю, частина продуктів розкладу вимивається за межі ґрунтового профілю. Новоутворені гумусові речовини майже не закріплюються на поверхні піщаних часток і досить швидко мінералізуються.

У суглинкових і глинистих ґрунтах процеси гуміфікації відбуваються інтенсивніше, гумусових речовин утворюється більше. Вони добре закріплюються на поверхні високодисперсних мінеральних часток. Особлива роль в накопиченні гумусу належать кальцію, який запобігає вимиванню гумусу з ґрунту, утворюючи водонерозчинний гумат кальцію. Крім того, насиченість ґрунту кальцієм забезпечує його нейтральну реакцію, сприятливу для розвитку мікроорганізмів.

У різних природних умовах характер і швидкість гумусоутворення неоднакові. Вони залежать від водно-повітряного та теплового режимів ґрунту. Найбільш сприятливими для нагромадження гумусу є поєднання в ґрунті оптимального гідротермічного і водно-повітряного режимів при деякому періодичному повторенні висушування ґрунту. Тоді розклад органічних решток відбувається поступово, а їх гуміфікація - достатньо енергійно. Саме такий режим характерний для чорноземів.

В анаеробних умовах (при постійному надлишку вологи), а також при низьких температурах процес гумусоутворення уповільнюється. Органічні рештки розкладаються за участю анаеробних бактерій. Процес розкладу поступово згасає, гуміфікація відбувається слабо. Органічні рештки перетворюються на торф.

Надмірний аеробіозис теж є небажаним, оскільки органічні рештки швидко розкладаються і мінералізуються, а продукти мінералізації вимиваються за межі ґрунтового профілю.

Оптимальне поєднання аеробного та анаеробного процесів можливе лише в структурних ґрунтах, де складається сприятливе відношення між водою та повітрям: внутріагрегатні пори насичуються водою, а між агрегатами - достатня кількість повітря.

Гумусоутворення та гуміфікація

Поняття гумусоутворення та гуміфікація слід розрізняти. **Гумусоутворення** - це вся сукупність процесів трансформації органічних решток у ґрунті. Схема гумусоутворення включає процеси розкладу органічних реш-

ток, мікробний синтез, гуміфікацію, взаємодію продуктів гуміфікації з мінеральною частиною ґрунту, а також повну мінералізацію та включення мінеральних компонентів в біокругообіг.

Гуміфікація - елемент гумусоутворення. В розумінні Л.М.Александрової це складний біофізико-хімічний процес трансформації проміжних високомолекулярних продуктів розкладу органічних решток в особливий клас органічних сполук - гумусові кислоти.

Таким чином гуміфікація - синтез гумусових речовин із уламків біологічних макромолекул, або їх мономерів, що утворюються в ґрунті завдяки метаболізму його живого населення та діяльності екзоферментів.

Процеси гуміфікації ще недостатньо вивчені. А.Г.Трусов, М.М.Кононова, В.Флейг в різні роки розробляли **конденсаційну гіпотезу гуміфікації**. Згідно цієї гіпотези гумус утворюється при окисленні та конденсації продуктів розкладу білків, насамперед ароматичних амінокислот із сполуками типу фенолів та хінонів, що в свою чергу утворюються при розщепленні лігніну та дубильних речовин. Агенти гуміфікації - кисень повітря, аміак, оксидази мікроорганізмів.

М.М.Кононова в умовах лабораторного дослідження показала можливість конденсації фенолів з білковими речовинами. З цієї гіпотези не зрозуміло, як утворюються гумінові, а як - фульвокислоти.

Ще в 30-ті роки І.В.Тюрін висунув **гіпотезу повільного біохімічного окислення** різних високомолекулярних сполук, що мають циклічну будову: білків, лігніну, дубильних речовин. Ця гіпотеза одержала розвиток у працях Л.М.Александрової. Початковий етап гуміфікації за Л.М.Александровою - це біохімічне окислювальне кислотоутворення, матеріалом для якого служать високомолекулярні продукти розкладу. Утворюється система високомолекулярних органічних кислот, які при взаємодії з азотистими сполуками утворюють систему азотовмістких гумусових кислот. Ароматизація молекул цих кислот відбувається не за рахунок конденсації, а внаслідок часткового відщеплення найменш стійких ділянок макромолекули. Підсилення ароматизації пов'язане зі зменшенням молекулярної маси.

Система гумусових кислот взаємодіє з зольними елементами рослинних решток, що виділяються при мінералізації, утворюючи низку органо-мінеральних похідних. При цьому єдина система поступово розщеплюється на кілька фракцій, різних за розчинністю, деталями будови молекули. Менш дисперсна частина, що утворює нерозчинні у воді солі з кальцієм, оксидами та гідрооксидами заліза і алюмінію, формується як група гумінових кислот. Більш дисперсна фракція, що дає більш розчинні солі - це фракція фульвокислот.

У ґрунтах підвищеного зволоження завжди утворюються більше фульвокис- лот через інтенсивне гідролітичне розщеплення всієї системи гумусових кислот.

На думку Д.С.Орлова, гуміфікація може відбуватися як шляхом конденсації, так і біохімічного окислення. В ґрунтах чорноземного типу з підвищеною біологічною активністю переважає конденсація з глибоким розкладом вихідних органічних решток. В підзолистих, дерново-підзолистих ґрунтах зі значною біологічною активністю не відбувається глибокого розкладу органічних решток. Крупні фрагменти лігніну, білків, полісахаридів, пігментів шляхом карбоксилування поступово трансформуються в гумусові речовини.

Дослідження А.Д.Фокіна з використанням мічених ^{14}C рослинних решт- ків показали механізм фрагментарного оновлення гумусу поряд з утворенням нових молекул специфічних сполук. Фрагментарне оновлення зумовлене конденсацією. Периферійна частина оновлюється значно швидше, ніж карбонізоване ядро. Периферійні фрагменти значно молодші від ядерних.

Згідно із Дюшофуром, процес гуміфікації має дві фази. Перша з них - **біологічна**, відносно коротка, в якій панують мікроорганізми та їх ензими. Ця фаза завершується утворенням «молодого гумусу», слабо зв'язаного з мінеральною частиною ґрунту. Друга фаза - фаза визрівання - **кліматична**, більш тривала, зумовлена сезонними контрастами клімату. Фаза завершується формуванням зрілого гумусу, міцно зв'язаного з мінеральною частиною ґрунту. На думку Дюшофура, лише карбонати та вторинні мінерали здатні стабілізувати гумус, а клімат (особливо в сухий період) підсилює полімеризацію, що обумовлена процесом дегідратації.

Гумусові речовини активно взаємодіють з мінеральною частиною ґрунту. Виділяють три групи їх органо-мінеральних сполук.

Першу групу складають солі гумусових кислот з катіонами лужних та лужноземельних металів. Утворюються гумати чи фульвати кальцію, магнію та інших металів. В утворенні цих гуматів беруть участь зольні елементи рослин після їх розкладу, прості солі, що є в ґрунтовому розчині, ввібрані катіони дифузного шару колоїдів ґрунту, основи, що входять до складу кристалічних ґраток первинних чи вторинних мінералів. Гумати кальцію - особливо цінний компонент цієї групи.

Другу групу утворюють комплексні гетерополярні солі, що виникають при взаємодії гумусових кислот з полівалентними металами (Fe, Al, Cu, Zn, Ni). Метали в комплексних солях входять до складу комплексного іону і не здатні до обмінних реакцій на інші.

Такі утворені комплекси називають комплексно-гетерополярними солями.

Третю групу складають адсорбційні органо-мінеральні сполуки. Серед них поширені:

1. Алюмо-залізогумусові сорбційні комплекси: гумусові кислоти сорбуються гелями напівтораоксидів (R_2O_3), що утворюють згустки, плівки та конкреції в ґрунтах. Буває й навпаки: гелі гумінових кислот адсорбують на своїй поверхні золі напівтораоксидів.

2. Глинисто-гумусові комплекси утворюються не через валентність, а в процесі склеювання (адгезії) компонентів за рахунок між молекулярних сил. Це склеювання супроводжується дегідратацією.

Питання про проникнення гумусових кислот в міжпакетні простори глинистих мінералів залишається дискусійним.

Утворення органо-мінеральних сполук може супроводжуватися їх міграцією в профілі ґрунту або акумуляцією на місці утворення. Гумати лужних металів добре розчинні у воді і легко пересуваються по профілю, як це видно з будови солонців. Гумати кальцію дуже мало розчинні. Їх багато в чорноземах. Гумати магнію трохи більш рухомі. Всі фульвати розчинні і рухомі.

В наш час уже одержано чимало даних про будову гумусових кислот, але цих даних ще недостатньо для побудови їх структурної формули. Гумусові кислоти належать до класу речовин, що мають високий вміст вуглецю і які об'єднуються спільною назвою **карбонізованих**. Принципово загальний тип будови цих речовин являє плоску атомну сітку циклічно полімеризованого вуглецю з бічними радикалами у вигляді лінійних вуглецевих ланцюгів.

Характерною особливістю гумусових кислот є полідисперсність та гетерогенність деталей їх будови. Міцели гумусу мають округлу форму. Їх відокремлене існування можливе в дуже лужному середовищі ($pH=11-12$), при більш низьких pH вони асоційовані в агрегати, що мають форму виноградного грона.

Як показали дослідження І.В.Тюріна, М.М.Кононової, Л.М.Александрової, Д.С.Орлова та ін., гумусові кислоти - особливий клас органічних сполук непостійного складу. Як гумінові, так і фульвокислоти зберігають загальний принцип будови. Але наразі існує лише ймовірна схема цієї будови.

Ядро молекули гумусової кислоти складається з бензолполікарбонових кислот, ароматичних та гетероциклічних кілець типу бензолу, фурану, піридину, індолу та ін. Ці ароматичні компоненти з'єднуються безпосередньо через вуглець (- C-C -, - C=C -) або через містки (- O -, - N -, - CH_2 -), або конденсовані, утворюючи сітку.

Ступінь ущільненості ароматичних компонентів наростає в процесі гуміфікації і по мірі зрілості ГК¹, що веде до зменшення їх рухомості.

Периферійну частину молекули ГК складають ланцюги бічних радикалів, як правило неароматичної будови, до складу яких входять вуглеводні, аміно-кислотні та вуглеводні компоненти. Губчастість будови молекули ГК обумовлює її здатність до набухання та адсорбції. Ядро має гідрофобні властивості, а периферичні ланцюги - гідрофільні.

Важливою частиною молекули є функціональні групи: карбоксильні, фенол-гідроксильні, метоксильні, карбонільні, амідні. Кислотні властивості, ємність вбирання, здатність до утворення органо-мінеральних похідних обумовлені наявністю цих груп.

Ємність вбирання зростає в умовах лужного середовища за рахунок іонів водню фенольних гідроксилів.

Ароматичні і гетероциклічні компоненти ГК складають 50-60%, вуглеводні компоненти - 25-30, функціональні групи - 10-25%. Атомне відношення Н:С = $0,5 \pm 1,3$, а атомне відношення С[^] = 14 ± 19 .

Таким чином гумус ґрунту - це складний динамічний азотовмісний комплекс органічних сполук, що утворюється при розкладі та гуміфікації органічних решток і вступає в тісну взаємодію з мінеральною частиною ґрунту.

Склад та властивості гумусу

Продукти гуміфікації - гумусові кислоти та їх похідні являють собою гетерогенну полідисперсну систему високомолекулярних азотовмісних ароматичних сполук кислотної природи. Ця система складна і динамічна. Вона представлена гуміновими кислотами, фульвокислотами та залишком, що не гідролізується (гуміном). Для більш глибокої характеристики ґрунтів треба знати якісний, або груповий склад їх гумусу, показником якого є співвідношення між вмістом у ґрунті вуглецю гумінових та фульвокислот (Сг.к. : Сф.к.). Розрізняють гуматний та фульватний типи гумусу. Межею поділу цих типів є співвідношення Сг.к.: Сф.к., що дорівнює одиниці. Виділяють такі типи групового складу гумусу за співвідношенням вуглецю гумінових і фульвокислот: гуматний > 2; гуматно-фульватний 1-0,5; фульватно-гуматний 2-1; фульватний < 0,5

Типи гумусу, в основному, відповідають і певним типам ґрунтів. Так підзолисті та дерново-підзолисті ґрунти тайгово-лісової зони найчастіше мають фульватний тип гумусу. Сірі лісові ґрунти лісостепової зони, які теж досить

¹ У цьому розділі під терміном «ГК» розуміють гумусові кислоти загалом.

кислі, мають фульватний або гуматно-фульватний тип гумусу. Опідзолені чорноземи лісостепу найчастіше мають фульватно-гуматний тип гумусу, а типові чи звичайні чорноземи, добре насичені основами, як правило мають гуматний тип.

Гумінові кислоти (ГК) - високомолекулярні азотовмісткі органічні кислоти циклічної будови. Вони розчиняються в лужних розчинах (NaOH, Na₂CO₃, Na₄P₂O₇) з утворенням розчинних гуматів натрію вишнево-брунатного або чорного забарвлення. В воді ГК розчиняються слабо, в кислотах не розчиняється зовсім. Тому їх і осаджують воднем мінеральних кислот, а також катіонами Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺, Al³⁺. Середня щільність їх сухих препаратів, виділених з ґрунту, становить 1,6 г/см³.

Розчиняються ці кислоти і в деяких органічних розчинниках - диметилформаміді, ЕДТА, піридині, диметилсульфоксиді.

Елементний склад ГК коливається в досить вузьких межах:

C 52-62%; H 2,8-5,8;

O 31-39; N 1,7-5.

Крім цих елементів (органогенів) ГК містять деяку кількість зольних елементів (P, S, Al, Fe, Si): зольність їх коливається в межах 1-10%.

Кислотна природа ГК зумовлена дисоціацією карбоксильних (COOH) та фенолгідроксильних (OH) груп. В кислому середовищі дисоціюють лише карбоксильні групи, кількість яких коливається в межах 250-500 м.-екв. на 100 г гумінової кислоти. В лужному середовищі ємність іонного обміну ГК дуже зростає (до 600-700 м.-екв.), оскільки в реакцію вступають фенолгідроксильні групи.

Форми азоту в ГК представлені амініними, амінокислотними, амідними та гетероциклічними групами. ГК за вмістом вуглецю діляться на дві великі групи. В першу з них (**сірих або чорних ГК**) входять ГК з кількістю вуглецю 40-42%. В другу (**бурих ГК**) - кислоти з вмістом вуглецю 37-38%.

Препарат ГК легко розділяється на ряд фракцій різної молекулярної маси (методом гель-фільтрації). Молекулярні маси молекул гумінових кислот коливаються від 4000-6000 до 50000-100000.

За сучасними уявленнями молекули ГК мають сферичну форму діаметром 3-8 мм, які утворюють асоціати більш крупних розмірів. Як колоїди ГК завжди несуть негативний заряд. В будь-якому ґрунті з рН<5 основна маса ГК перебуває у вигляді нерозчинних у воді органо-мінеральних похідних, а при рН>5 - в формі дегідратованих гелів, що частково розчиняються (пептизуються) при дії лужних розчинів.

М.М.Кононовою (1963) встановлено, що відносний вміст вуглецю в ГК закономірно збільшується від підзолистих ґрунтів до темно-сірих лісових і чорноземів, але зменшується в гумінових кислотах каштанових ґрунтів. Щодо відсоткового вмісту водню, спостерігається зворотна залежність.

У чорноземах та інших ґрунтах, що мають високу біологічну властивість, швидко руйнуються легкодоступні компоненти рослинних решток, а також складові частини гумінових кислот, що легко гідролізуються. Гумінові кислоти збагачуються на вуглець та збіднюються на азот і кисень.

У ґрунтах із зниженою біохімічною активністю триваліше існують вуглеводи, амінокислоти, пептиди та інші неспецифічні сполуки, котрі внаслідок приєднання до гумінових кислот дещо знижують в них вміст вуглецю і підвищують вміст азоту. Інакше кажучи, у підзолистих ґрунтах гуміфікація повинна відбуватися шляхом трансформації високомолекулярних решток, тоді як в чорноземах більшого значення набуває конденсація мономерів. За даними радіовуглецевого датування вік гумінових кислот знаходиться в межах 1600-6800 років.

Фульвокислоти (ФК) І.В.Тюрін вважав групою високомолекулярних оксикарбонових азотовмістких кислот, що відрізняються від гумінових нижчим вмістом вуглецю, розчинністю у воді і мінеральних кислотах.

Сучасними методами досліджень встановлено, що ФК і ГК мають єдиний принцип побудови. Проте на відміну від ГК, ФК мають менш конденсоване ароматичне ядро і більш розвинену периферію. За даними УНДІГА (О.О.Бациула, 1987), фульвокислоти основних типів ґрунтів України на 72-77% складаються з периферійних аліциклічних ланцюгів і містять у своєму складі ядерної частини від 15 до 25% ароматичних структур.

Слід відмітити розбіжність поглядів на походження фульвокислот. Одні вважають їх попередниками гумінових кислот або продуктами їх деструкції, а інші - що вони утворюються в процесі гуміфікації паралельно з ГК.

ФК також є гетерогенними полідисперсними системами. За даними гель-фільтрації, середньозважена молекулярна маса фульвокислот коливається від 5 до 12 тисяч в.о.

У дерново-підзолистих ґрунтах, де біохімічна активність знижена, до складу молекул гумусових кислот входять довші ланцюги поліпептидів, полісахаридів, внаслідок чого зростає молекулярна маса. В цих ґрунтах збільшується розчинність гумусових кислот та їх стійкість до коагулюючої дії електролітів.

Елементний склад фульвокислот знаходиться в таких межах (%):

С 40-52; Н 4-6; О 40-48; N 5

Співвідношення С : Н у ФК вужче, ніж у ГК. Неоднакова біохімічна активність ґрунтів спричиняє більшу або меншу різницю між ГК та ФК. У чорноземах різниця між ними дуже істотна, ФК тут найбільш молоді, тоді як у підзолистих ґрунтах невелика швидкість розкладу ФК є причиною зближення властивостей ФК та ГК.

Гуміни. Близько 20-30% гумусу не екстрагується з ґрунту і належить до гумінів, які представлені ГК та ФК, дуже міцно закріпленими на поверхні мінеральних часток. Вони мають знижений вміст вуглецю і підвищений - водню, менш окислені. Дослідження їх віку за допомогою радіовуглицевого методу показало, що фракція гумітів більш молода порівняно з іншими.

Гумінові і фульвокислоти залежно від їх розчинності і характеру зв'язку з мінеральною частиною ґрунту діляться на фракції (фракційний склад гумусу).

ГК діляться на такі фракції:

Активний та пасивний гумус

Поняття про активний та пасивний гумус було в свій час розроблено О.Н.Соколовським, який писав так: «Яким би не був хімічний склад гумусу, основною характеристикою його є колоїдність, бо саме з цим зв'язані і фізичні і хімічні властивості ґрунту. Ближче ознайомлюючись з гумусом, ми встановили в ньому дві головні групи: активну і пасивну. Частина гумусу зв'язана з увібраним кальцієм. Якщо кальцій вилучити, ця частина гумусу переходить у псевдорозчин (золь). Це - **активний гумус**. Активним ми його зовемо тому, що він легко рухливий, що його розчинність - чутливий показник змін насиченості ґрунту кальцієм, що в процесі свого розвитку він цементує ґрунтові частки і є активним фактором утворення структури. З порушенням насиченості кальцієм він у тій чи іншій мірі пептизується, замулюється, переходить у псевдорозчин. Одночасно з цим руйнується й структура.

Друга форма гумусу - **пасивний гумус**, не пептизується навіть після вилучення кальцію з ґрунту. Активний гумус переходить у пасивну форму під впливом дегідратації. Це типовий процес «старіння» органічних колоїдів. Активний гумус має значно більшу дисперсність, ніж пасивний, після коагуляції легко пептизується знову. Співвідношення активного й пасивного гумусу в різних ґрунтах неоднакове: активного гумусу більше в чорноземах, менше в підзолистих ґрунтах. Протягом сезону це співвідношення міняється в тому самому ґрунті».

У цілинах і на перелогах чорноземні ґрунти мають більшу кількість пасивного гумусу, ніж на староорних. Висушування ґрунту дуже зменшує в ньому вміст активного гумусу за рахунок збільшення пасивного. Пасивний гумус - важливий фактор водостійкості структури.

Гумусний стан ґрунту та заходи його регулювання

Показники стану гумусу

За Л.А.Гришиною та Д.С.Орловим, сукупність морфологічних ознак, загальних запасів, властивостей органічної речовини ґрунту та процесів її утворення, трансформації і міграції в профілі ґрунту дістала назву **гумусного стану ґрунту**.

Л.А.Гришиною та Д.С.Орловим в 1977 році було запропоновано систему показників для оцінки гумусного стану. До цих показників належать такі:

1. Вміст гумусу, %.
2. Запаси гумусу в шарі 20 та 100 см, т/га.
3. Збагаченість азотом, C: N.
4. Ступінь гуміфікації органічної речовини (C г.к./C заг.) 100%.
5. Тип гумусу, C г.к.: C ф.к.
6. Вміст (%) різних фракцій гумінових кислот.
7. Оптична щільність гумінових кислот.
8. Біологічна активність (дихання) ґрунту.

Наприклад, за вмістом гумусу рівень ознаки ґрунту може бути дуже високим (>10%), високим (6-10%), середнім (4-6%), низьким (2-4%) та дуже низьким (2%). Збагаченість гумусу азотом, GN може бути дуже високою (<5), високою (5-8), середньою (8-11), низькою (11-14), дуже низькою (>14). Біологічна активність ґрунту за інтенсивністю виділення CO₂ (кг/га за годину) може бути високою (>10), середньою (5-10), низькою (<5).

Різні типи ґрунтів дуже різняться за своїм гумусним станом. Наприклад, лісові дерново-підзолисті ґрунти мають низький вміст і запас гумусу, середній ступінь гуміфікації, вони характеризуються середнім вмістом у гумусі азоту, гуматно-фульватним типом гумусу, дуже низьким вмістом фракції гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм і т.д.

Гумусний стан чорноземів типових на орних угіддях характеризується високим вмістом і запасом гумусу, середньою чи високою збагаченістю гумусу азотом, високим ступенем гуміфікації, гуматним типом гумусу, високим вмістом гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм.

Роль гумусу

Оцінюючи роль гумусу у ґрунті, слід насамперед виділити його **екологічну роль**.

В.А.Ковда запропонував вважати гумусовий шар ґрунтів планети особливою енергетичною оболонкою - гумосферою. Енергія органічної речовини ґрунту використовується мікроорганізмами та безхребетними тваринами для життєдіяльності, фіксації азоту, відтворення родючості ґрунту. Однак в останні десятиліття було помічено, що екстенсивне ведення землеробства призводить до помітного зниження вмісту гумусу в ґрунтах. Питання про стабілізацію та розширення відтворення запасів гумусу в ґрунтах - найбільш актуальне питання сучасного землеробства.

Тісно пов'язані з вмістом та запасами гумусу фізичні властивості ґрунтів, поліпшення їх структурного стану, водотривкості агрегатів, підвищення загальної пористості, найменшої вологоємності, діапазону активної вологи.

Ґрунти з високим вмістом гумусу швидше підсихають навесні, набувають фізичної стиглості до обробітку. Питомий опір при їх обробітку, а значить і експлуатаційні затрати на нього знижуються.

Високогумусовані ґрунти мають знижену рівноважну щільність зложення, що створює умови для мінімалізації їх обробітку.

Фізико-хімічні властивості ґрунту (ємність катіонного обміну, буферність) тісно корелюють з вмістом гумусу. В гумусі міститься близько 97-99% всіх запасів азоту, що є в ґрунті, 80% сірки, 60% фосфору. В процесі життєдіяльності рослин та мікроорганізмів відбувається мобілізація елементів мінерального живлення, які, переходячи в доступні форми, накопичуються у верхніх горизонтах ґрунту. 50% азоту рослини беруть із ґрунтових запасів, тобто з гумусу. Одночасно, органічна частина ґрунту служить основою для створення оптимальних умов для ефективного використання високих доз мінеральних добрив. Гумусові речовини ґрунту сприяють зниженню негативної дії хімічних добрив, закріплюють їх надлишок, нейтралізують шкідливі домішки.

Органічна речовина ґрунту містить велику кількість фізіологічно активних речовин. Біологічна активність ґрунту прямо і дуже тісно корелює з його органічною речовиною. В більш гумусованих ґрунтах більше розмаїття видового складу мікроорганізмів, найпростіших організмів типу Protozoa, тварин і, як наслідок, більше міститься ферментів, інтенсивніше відбувається дихання та надходження CO₂ в приземний шар атмосфери, що підвищує інтенсивність фотосинтезу. Ґрунти з більш високою біологічною активністю, як правило, здатні забезпечувати високу врожайність польових культур.

Дослідження останніх років свідчать про те, що гумус, як і органічні добрива, відіграє істотну роль у підвищенні ефективності високих і дуже високих норм мінеральних добрив. Дуже часто ґрунти тим краще реагують на збільшення норм мінеральних добрив, чим більше у них гумусу. Гумус сприяє поглинанню елементів живлення через клітинні оболонки коріння. При його наявності рослина може їх поглинати більше, ніж без нього. Цілком ймовірно, що гумус збільшує проникність клітин для іонів.

Таким чином, можна звести роль органічної речовини ґрунту до таких функцій («Ґрунтознавство» під ред. І.С.Каурічева, 1989):

А. Функції, пов'язані з генезисом ґрунту, формуванням його морфологічних ознак, хімічного складу та властивостей:

1. Формування специфічного профілю.
2. Утворення агрегатів за участю гумусових сполук, формування мікробіологічно стійких структур.
3. Вплив на зложення та водно-фізичні властивості ґрунту.
4. Утворення рухомих сполук, здатних до міграції, включення мінеральних компонентів ґрунту до біогеохімічного кругообігу.
5. Формування сорбційних, кислотно-основних та буферних властивостей ґрунту.

Б. Функції, пов'язані з безпосередньою участю органічних речовин в живленні рослин:

6. Джерело елементів мінерального живлення вищих рослин (N, P, K, Ca, мікроелементи).
7. Джерело органічного живлення для гетеротрофних організмів.
8. Джерело CO₂ в приземному шарі атмосфери (вплив на продуктивність фотосинтезу).
9. Джерело біологічно активних речовин у ґрунті.

В. Санітарно-захисні функції органічної речовини:

10. Прискорення мікробіологічного розпаду пестицидів, каталіз швидкості цього розпаду.
11. Закріплення забруднювачів у ґрунті (сорбція, утворення комплексних сполук); зниження їх надходження до рослин.
12. Підсилення міграційної здатності токсикантів.

Вплив сільськогосподарського використання ґрунтів на вміст і якісний склад гумусу

Турбота про гумус ґрунту - одне з найважливіших завдань агронома. При нераціональній системі обробітку ґрунту та вирощуванні культур відбуваються втрати гумусу та погіршується його якість.

Наприклад дерново-підзолистий ґрунт дослідного поля ТСГА, який мав 2,06 % гумусу за 43 роки безмінного використання під пар без добрив втратив майже половину всього гумусу (49%), а таке саме використання під пар з внесенням гною підвищило початковий вміст гумусу на 13%.

М.К.Шикула (1987) звертає увагу на те, що за період інтенсивного землеробства чорноземи України в результаті біологічного розкладу втратила до половини і більше запасів гумусу. М.Г.Пляхою були проведені повторні обстеження (через 20 років після перших) ґрунтів Кіровоградської дослідної станції. Вони показали, що середньорічні втрати гумусу на вододілі склали 0,08%, на пологіму схилі 0,125% (підсилюючись зливом ґрунту).

Зменшення вмісту гумусу в ґрунтах України підтверджується тематичною картою гумусованості ґрунтів України в розрізі адміністративних районів (додаток 2). Карта побудовано із використанням статистичних матеріалів ДТЦ «Центрдержродючість» Мінагрополітики України, межі областей зображено із використанням цифрової карти М 1:500 000 ДП «МЦЕК» МНС України (1998). Розробник тематичної карти: УЦМЗР (за матеріалами Проєкту UNEP-GEF BINU), 2004.

Аналіз змін, що відбуваються в груповому складі гумусу під впливом розорювання цілинних ґрунтів і тривалого сільськогосподарського використання показує, що різні фракції гумусу мають неоднакову стійкість до розкладу. Існуючі уявлення про фракції, міцно зв'язані з мінеральною частиною ґрунту як про найменш доступні для розкладу і відповідно найбільш інертні речовини, що істотно не впливають на ефективну родючість, дуже перебільшене. Вміст гумінів може значно зменшуватись, а абсолютна кількість і частка гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм, не зазнають змін.

У орних чорноземах типових вміст фракцій 1 і 2 фульвокислот зменшився більш як у 2 рази порівняно з цілиною. Гумінові кислоти 1 і 3 фракцій зменшилися на 25-28%, а вміст фракцій гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм, і пов'язаних з ними фракції фульвокислот зазнав найменших змін. Тому цілком закономірне відносне збільшення частки фракцій гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм.

На початкових стадіях сільськогосподарського використання ґрунтів внаслідок зростання аерації, підсилення інтенсивності мінералізації та зниження

надходження до ґрунту органічних решток, зростає частка азоту, що вивільняється за рахунок мінералізації гумусових речовин, знижується забезпечення ґрунту азотом за рахунок органічних решток. Наслідок цього - значні мінералізаційні втрати гумусу, що в подальшому служить причиною ще більшого зменшення його ролі в постачанні рослинам азоту.

Зменшення втрат гумусу, стабілізації його вмісту можна досягти шляхом застосування комплексу заходів: внесення органічних і мінеральних добрив, висіву багаторічних трав, застосування сидератів, залишення високої стерні зернових культур, мінімалізації обробітку ґрунту, створення оптимальної структури сівозмін, застосування хімічних меліорантів (вапна, дефекату, гіпсу та ін.), які сприяють закріпленню гумусу на поверхні мінеральних часток ґрунту.

Шляхи регулювання стану гумусу

Серед заходів, спрямованих на забезпечення бездефіцитного балансу гумусу, найважливіше значення мають рослинні рештки і органічні добрива. Маса рослинних решток збільшується з підвищенням урожайності, але на одиницю врожаю - зменшується. Польові культури за впливом на гумусний стан ґрунту можна поділити на три групи: 1) багаторічні трави; 2) однорічні зернові та зернобобові культури; 3) однорічні просапні культури. Коренева маса багаторічних трав у 1,5-2 рази перевищує масу коріння й стерні однорічних зернових культур. Гумус під ними утворюється в умовах зменшення аеробних процесів внаслідок ущільнення ґрунту. Коефіцієнти гуміфікації досягають 0,4. Значно меншу масу рослинних решток залишає в ґрунті друга група рослин, а третя - найменшу.

При застосуванні сидератів коефіцієнт гуміфікації наближається до нуля, але при цьому не розкладається органічна речовина ґрунту.

Краща здатність багаторічних трав (люцерна, конюшина) до гумусоутворення зумовлена тим, що співвідношення С : N в їх корінні дорівнює 10:1 - 15:1, тоді як у корінні й соломі зернових культур суцільного висіву це співвідношення значно ширше - 35:1-50:1.

При застосуванні соломи як органічного добрива на кожен її тону треба вносити 10 кг азоту мінеральних добрив.

Вапнування кислих ґрунтів збільшує вміст у них гумінових кислот, розширюючи співвідношення ГК:ФК. Гній та вапно деякою мірою змінюють тип гумусу у дерново-підзолистому ґрунті в бік гуматного.

Втрата гумусу, що відбувається в результаті ерозійних процесів, не може бути відновлена за короткий час агротехнічними прийомами. Для припинення ерозії необхідно перейти на контурну організацію території з використанням тривало діючих контурних рубежів у вигляді лісосмуг з безпечним відводом лишків води, контурного мінімалізованого і мульчуючого обробітку ґрунту, з оптимальним розміщенням культур залежно від крутизни схилу.

Визначення балансу гумусу в сівозмінах

Експериментальне визначення гумусного балансу потребує багаторічних досліджень, а тому його важко здійснювати на практиці. Запропоновано кілька розрахункових методів визначення балансу гумусу в ґрунті (О.М.Лікова, Г.Я.Чесняка та ін.).

На Україні широко використовують метод Г.Я.Чесняка. Виділяють три типи балансу: бездефіцитний - коли втрати гумусу поповнюються новоутворенням; позитивний - новоутворення гумусу перевищує його витрати на мінералізацію; від'ємний (або дефіцитний) - витрати гумусу перевищують його новоутворення.

Баланс гумусу в ґрунті розраховують для умов окремої сівозміни за ротацію. При визначенні величини середньорічного балансу гумусу розрахунки ведуть за формулою:

$$Бс = \frac{\sum П_1 + \sum П_2}{tp} - \frac{\sum P}{tp}, \quad (86)$$

де Бс – середньорічний баланс гумусу в ґрунті на одному гектарі за ротацію сівозміни, т/га; $\sum П_1$ – сума новоутвореного гумусу під культурами за ротацію сівозміни за рахунок рослинних решток, т/га; $\sum П_2$ – збільшення вмісту гумусу в ґрунті за ротацію сівозміни за рахунок органічних добрив, т/га; $\sum P$ – сумарна кількість гумусу, який мінералізується під культурами за ротацію сівозміни, т/га; tp – тривалість ротації, років.

При розрахунку кількості новоутвореного гумусу з рослинних решток та гною користується коефіцієнтами гуміфікації, що показують долю сухої маси решток, що перетворюються в гумус. Наприклад, для цукрових та кормових буряків коефіцієнт гуміфікації становить 0,10, для озимої пшениці на зерно 0,20, для люцерни, еспарцету та інших багаторічних трав 0,25, для сухої речовини гною 0,30.

Але спочатку треба визначити масу рослинних решток, що їх залишає після себе культура. Це роблять за допомогою рівнянь регресії на основі врожаю основної продукції, приклади яких приведені в таблиці 1.

Підставляючи замість ігрека врожайність, одержуємо масу поверхневих і корневих решток, які потім додаємо, щоб помноживши цю сумарну масу на відповідний коефіцієнт гуміфікації одержати масу новоутвореного гумусу після певної культури. Загальні витрати гумусу за ротацію сівоzmіни визначаються розмірами його мінералізації під окремими культурами. Наприклад, під чорним паром мінералізація гумусу максимальна (2 т/га), під озимою пшеницею (на зерно) вона складає 1,35, під цукровими буряками - 1,59, багаторічними травами (конюшиною, люцерною, еспарцетом) - 0,6 т/га.

Знаходять різницю між кількістю новоутвореного та мінералізованого гумусу під кожною культурою сівоzmіни і залишають цю різницю з відповідним знаком (+ чи -). Знаходять суму цих показників по всіх полях сівоzmіни і, поділивши її на кількість полів (тривалість ротації), знаходять баланс гумусу на 1 га площі сівоzmіни.

Таблиця 1. Рівняння регресії ДЛЯ визначення маси рослинних решток (за Чесняком, 1987)

Культура	Рештки	
	поверхневі	кореневі
Озима пшениця	$x = 0,23_y + 13,5$	$= 0,71_y + 10,0$
Ярий ячмінь	$x = 0,29_y + 6,8$	$= 0,54_y + 9,3$
Кукурудза на зерно	$x = 0,20_y + 1,6$	$= 0,83_y + 7,2$
Горох, віка, соя	$x = 0,12_y + 4,5$	$= 0,36_y + 8,9$
Цукрові буряки	$x = 0,005_y + 2,8$	$= 0,06_y + 5,7$
Багаторічні трави (сіно)	$x = 0,12_y + 5,9$	$= 1,02_y + 4,7$
Картопля, овочі, баштанні, гарбузи	$x = 0,068_y + 0,5$	$= 0,07_y + 8,9$

Одна тонна гною, внесена в ґрунт зумовлює новоутворення 40-60 кг гумусу. Це співвідношення і мають на увазі, коли, одержавши баланс зі знаком (-), розраховують додаткову норму гною на гектар сівоzmінної площі для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Склад органічної частини ґрунту
2. Гумусоутворення та гуміфікація
3. Склад та властивості гумусу
4. Показники стану гумусу
5. Шляхи регулювання стану гумусу
6. Визначення балансу гумусу в сівозмінах