

В.П.Дмитренко, Н.М.Осадча, С.А.Чернецька

ПРО ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ГУМУСОВІ РЕЧОВИНИ ҐРУНТОВИХ ТА ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Розглянуто склад, властивості та основні механізми утворення гумусових речовин у ґрунтах. Охарактеризовано основні закономірності їх геохімічного обігу. Показано роль метеорологічних чинників та клімату у процесах ґрунтоутворення.

Уявлення про ґрунтову екосистему

Гумус є головною органічною ознакою ґрунту, як природного тіла, утвореного протягом тисячоліть внаслідок взаємодії гірської породи, клімату, живих організмів і решток їхньої життєдіяльності в тонкому поверхневому шарі земної кулі. Він утворюється ґрунтовою екосистемою (рис. 1), стрижнем якої є ґрунтова флора й фауна разом із рослинними

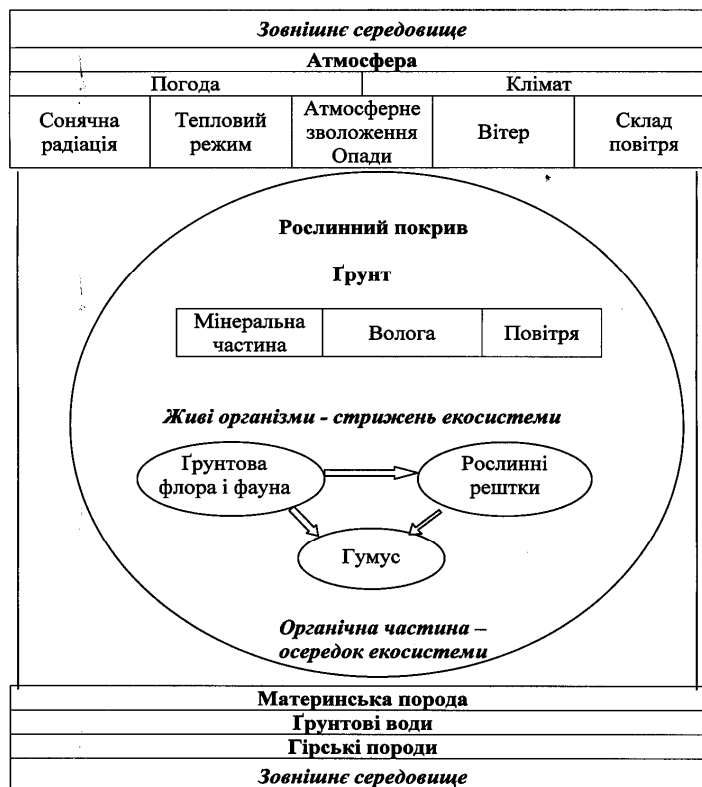


Рис. 1. Структурна схема ґрунтової екосистеми

рештками. Осередок цієї екосистеми вміщує рослинний покрив або фітогеоценоз. Разом із мінеральною частиною ґрунту, його вологістю й ґрунтовим повітрям формується периферія ґрунтової екосистеми.

Всі складові осередку й периферії постійно і безпосередньо взаємодіють між собою, узгоджено змінюючи власні властивості й утворюючи зміст родючості ґрунту. Периферію ґрунтової екосистеми обмежує оболонка, яка визначається поверхнею ґрунту та межею поширення наслідків взаємодії стрижня, осередку й периферії. Оболонка ґрунтової екосистеми умовно відокремлює її від зовнішнього середовища.

Зовнішнє середовище ґрунтової екосистеми утворюють материнська порода, ґрунтові води, гірські породи та атмосфера за особливостями погоди й клімату в місці ґрунтоутворення. Останні, як визначив В.В.Докучаєв [11], за притаманними їм режимами сонячної радіації, надходження тепла, осадження атмосферних опадів визначають напрями формування гумусу, його якість, кількість, розподіл у ґрунтовому профілі тощо.

Обсяги й наслідки взаємодії складових ґрунтової екосистеми в певних інтервалах часу формують склад органічної частини ґрунту.

Загалом до органічної частини ґрунту належать діючі кореневі системи рослин, ґрунтова флора й фауна, рослинні рештки й гумус. Їхній склад та внесок наведені на рис. 2.

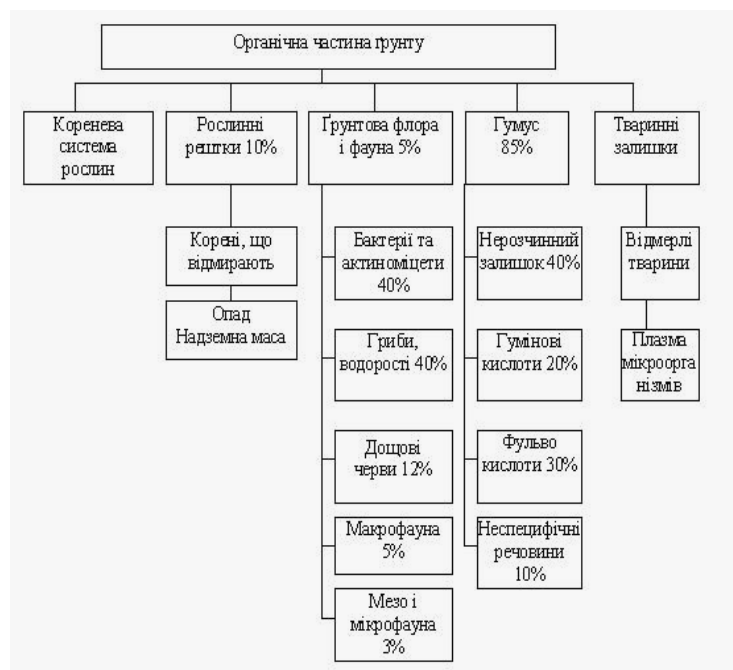


Рис. 2. Структурна схема складу органічної частини ґрунту

Гумус являє собою комплекс специфічних темнозбарвлених органічних сполук. Він вміщує нерозчинний залишок, неспецифічні речовини та гумусові речовини (ГР). Гумус утворюється внаслідок гуміфікації продуктів розкладу органічних решток. Його значення полягає у формуванні родючості ґрунту за вміщенням основних елементів живлення. Останні під дією мікроорганізмів та впливом теплової енергії, вологості і повітряного режиму ґрунту перетворюються в доступну для споживання форму. За вмістом і розподілом гумусу в ґрунті визначаються особливості водного та теплового режимів, біологічна активність організмів, пересування продуктів ґрунтоутворення в ґрунтовому профілі тощо.

Гумус є об'єктом постійної взаємодії великого й малого геохімічних кругообігів речовин на Землі. Він сприяє регулюванню біосферних процесів завдяки динамічному відтворенню родючості ґрунту, бере участь у регулюванні хімічного складу атмосфери й гідросфери, здійснює акумуляцію активної органічної речовини і хімічної енергії. Його активну частину складають гумусові речовини.

Гумусові речовини належать до найважливіших компонентів органічної складової ґрунтів. З ними безпосередньо пов'язана родючість, адсорбційні, механічні, теплові, водні властивості ґрунту, регулювання його водного, газового режиму і енергобалансу. Гумусові речовини містять велику кількість зольних елементів. В процесі мінералізації гумусу вони переходять у легкодоступну для рослин форму, забезпечуючи їх елементами мінерального живлення. Саме цим пояснюється факт зростання біологічної продуктивності рослин у ґрунтах з високим вмістом гумусу.

Геохімічний обіг гумусових речовин разом із чинниками, що його зумовлюють, становить стрижневий процес формування родючості ґрунту. Остання є головним чинником утворення зеленої маси, продуктивності природної рослинності й урожайності сільськогосподарських культур. Гумус у комплексі своїх складових, разом з іншими компонентами, визначають природну та ефективну його родючість [8, 9, 27] за схемою:

$$F = F(\rho, \gamma, pH, \beta, \zeta), \quad (1)$$

де F - родючість ґрунту; ρ - його щільність; γ – кількість гумусу; pH – кислотність ґрунту; β – склад і інтенсивність діяльності мікроорганізмів; ζ – забруднення ґрунту.

У виразі (1) склад мікроорганізмів є невід'ємною основною ознакою стрижня ґрунтової екосистеми. Інші характеристики відображають основні позитивні й негативні властивості її осередку. Їх обсяги та взаємодія в геохімічному обігові речовин за процесами енергообміну та масообміну залежать від властивостей зовнішнього середовища. Воно вміщує дві основні відокремлені складові: атмосферу й підстильну поверхню, які істотно відрізняються своїми фізичними властивостями. Але їхня взаємодія і спільний вплив на стрижень і осередок ґрунтової екосистеми визначають зміст і спрямованість характеристик гумусових речовин, які формують родючість ґрунту за вмістом останніх.

За згаданими особливостями разом із плідністю клімату внесок гумусу у склад родючості ґрунту формує поняття про географічний максимум урожайності [8]:

$$U_G = U_B F_C C A, \quad (2)$$

де U_G – географічний максимум урожайності; U_B – біологічний максимум урожайності; F_C – ефективна родючість ґрунтів у певній місцевості; C – плідність клімату в згаданій місцевості; A – антропогенний вплив на врожай соціально-економічними, організаційними умовами та технологією вирощування сільськогосподарської культури.

Таким чином, ґрунтова екосистема за своїм змістом, структурою та взаємодією із зовнішнім середовищем і значенням у природі є невід'ємною органічною складовою біосфери, яка забезпечує на суходолі існування та еволюцію органічного світу і людини за енергетичними та речовинними обсягами і властивостями абіотичного характеру.

Гумусові речовини та їх властивості

Гумусові речовини становлять групу високомолекулярних сполук, які утворились у результаті гуміфікації органічних решток ґрунтовими мікроорганізмами внаслідок складних біохімічних процесів у придатних умовах ґрунтового осередку та зовнішнього середовища. Кінцевими продуктами розкладання рослинних решток є вода, вуглекислота, аміак, низькомолекулярні органічні сполуки та гумусові речовини. Останні, як продукти розпаду первинних органічних решток та обміну речовин мікроорганізмів (метаболітів), формують молекули гумусових речовин за

участю окиснювальних ферментів переважно мікробного походження. За особливостями будови вони не є індивідуальними речовинами, не мають постійного складу та хімічної формули і являють собою складні гетерогенні суміші високомолекулярних біохімічно стійких сполук із властивостями слабких кислот. На засадах запропонованого І.В.Тюріним [22] фракційно-грунтового аналізу з визначенням розчинності, гумусові речовини систематизовані у групи гумінових (ульмінових) кислот, фульвокислот і гумінів (рис. 3).

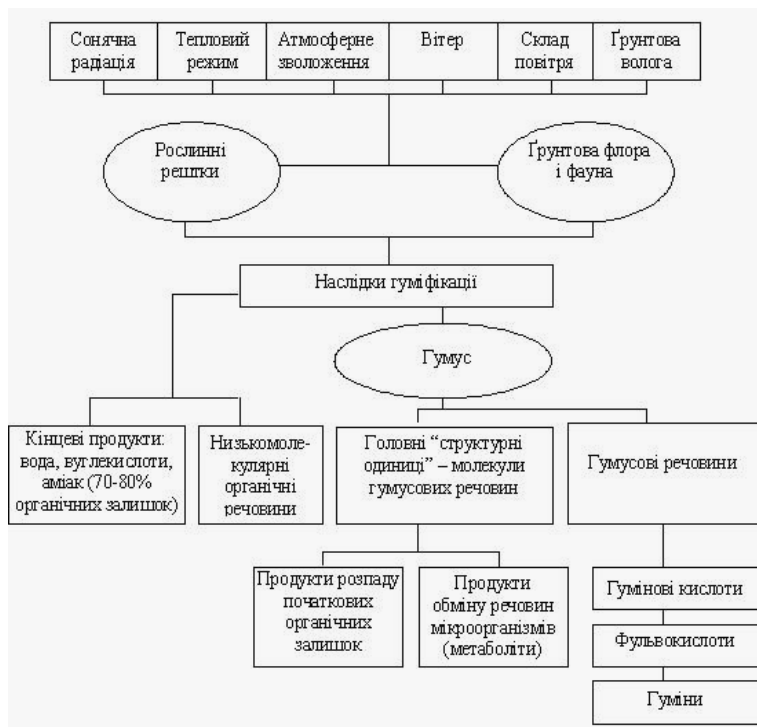


Рис. 3. Схема наслідків гуміфікації та складу гумусових речовин

Найбільше значення у формуванні родючості ґрунту мають гумінові та фульвокислоти. Група гумінів переважно містить гумінові кислоти, які стало зв'язані з мінеральною частиною ґрунту.

До гумінових кислот (ГК) належать речовини, що розчиняються у слабких лугах і коагулюють при підкисленні розчину. Гумінові кислоти мають темно-коричневе або чорне забарвлення і характеризуються високою біологічною стійкістю. Вони надають ґрунтам темного забарвлення навіть при незначному вмісті гумусу. Через погану розчинність у воді ГК накопичуються у верхньому шарі ґрунту і, таким чином, формують гумусний горизонт. Встановлено, що питома оптична густина ГК зменшується від чорноземів до підзолистих ґрунтів [3]. За

зовнішніми ознаками (колір, ступінь хімічної в'язкості та вплив на фізичні, хімічні і біологічні властивості ґрунту) ГК є зовнішньою головною, стійкою органічною складовою родючості ґрунту.

Фульвокислоти (ФК) мають жовте забарвлення і добре розчиняються у воді. В умовах, де переважає синтез фульвокислот, ґрунти, зазвичай, бідні на гумус. Крім того, ФК здатні руйнувати мінерали ґрунту, здійснюючи хімічне вивітрювання, що спричинено сильно-кислою реакцією ФК, високою ємністю обміну ґрунту та ін. Фульвокислоти становлять внутрішній природний зміст родючості ґрунту, найбільш вільну і рухому його органічну частку.

За кількісним вмістом у ґрунтах ГК, зазвичай, значно перевищують ФК. Гуміни являють собою сукупність міцно зв'язаних з мінеральною частиною ґрунту ГК і ФК. До їх складу входять також компоненти рослинних решток, що важко розкладаються мікроорганізмами: целюлоза, лігнін. Гуміни не розчиняються в жодному розчиннику, тому їх ще називають інертним гумусом.

Зважаючи на ступінь міграції ГР в умовах різного зволоження ґрунту, колір гумусових речовин не є визначальною ознакою. Вони змінюють забарвлення відповідно до величини *pH* від світло-жовтого в кислому середовищі до майже чорного в лужному [3].

Відповідно до сучасних уявлень ГК і ФК мають загальний принцип будови. В основі їхньої молекули знаходиться ароматичне ядро, з яким пов'язані бічні ланцюги. Індивідуальні відмінності полягають у співвідношенні ароматичних і периферійних аліфатичних структур та у різному вмісті функціональних груп. Однак у складі ГР співвідношення ароматичного і аліфатичного вуглецю вище порівняно із ФК. За даними інфрачервоної спектроскопії, до складу ГР входять карбоксильні, фенол-гідроксильні, карбонільні, амінні, катехольні та хінонні групи. ФК мають більшу кількість функціональних груп, що визначає їх вищу рухливість і реакційну здатність [5].

Елементний склад гумусових речовин наведено в табл. 1.

Однією з важливих механічних характеристик, що впливає на стан і динаміку гумусових речовин у навколишньому середовищі є розмір їх часток. Результати, отримані методом електронної мікроскопії, показали, що зазначені речовини є сфероколоїдами, здатними об'єднуватися в ланцюги, що визначає їх полідисперсність.

Таблиця 1

Властивості та елементний склад гумусових речовин

Властивості	Гумусові речовини	
	гумінові кислоти	фульфові кислоти
Елементний склад (%)		
вуглець	52 – 62	44 – 49
водень	3 – 5,5	3,5 – 5,0
кисень	30 – 33	44 – 49
азот	3,5 – 5,0	2,5 – 4,0
Величина <i>pH</i>	3,0 – 3,5	2,5 – 3,0
Ємність обміну ґрунтів (мг-екв.)	300 – 400	600 – 700

Дані гель-хроматографічного дослідження засвідчили, що ГК є гетерогенними речовинами, до складу яких входять як високо- так і низькомолекулярні сполуки. Ефективні значення молекулярних мас ГК знаходяться у діапазоні від декількох сотень до кількох тисяч дальтон (Да). ФК більш гомогенні, а їх молекулярна маса перевищує 1-1,5 тис. Да.

Полідисперсність гумусових речовин виявляє значну просторову варіабельність, а також змінюється вздовж ґрунтового профілю і залежить від типу ґрунту. Встановлена закономірність зміни ступеня полідисперсності ґрунтів зонального ряду. Молекулярна дисперсність і агрегація ГР збільшується з півночі на південь зі зменшенням кількості опадів і підвищенням середньодобової температури і вниз по вертикальному профілю ґрунту зі зростанням мінеральної частки гірської породи. Відповідно зростає й молекулярна маса ГР.

Сезонна мінливість не порушує характерного для кожного типу ґрунтів набору фракцій ГР різної дисперсності. Вона впливає, головним чином, на межі коливань вмісту кожної з них. Вміст ГР і їхня мінливість формує уявлення про родючість ґрунту і його річну динаміку.

Особливості гуміфікації та геохімічного обігу гумусових речовин

Природа і механізм синтезу гумусових речовин відзначаються великою складністю. Як відомо, гумус ґрунтів вивчається більше 200 років, але однозначного висновку стосовно механізму його утворення не зроблено.

Загалом гумусові речовини беруть участь у двох послідовних процесах глобального масштабу, які пов'язані між собою в часі.

Першим процесом є ґрунтоутворення, в якому провідне значення має гуміфікація. За наслідками гуміфікації здійснюється геохімічний обіг гумусових речовин. Вони закріплюються у ґрунті, надходять до рослин та засвоюються ними і формують біомасу та врожай останніх. Завдяки процесам зовнішнього вологообміну гумусові речовини надходять у поверхневі води, проникають у глибокі шари ґрунту та у ґрунтові води і продовжують свій вплив в інших середовищах. За цими наслідками відтворюються нові цикли геохімічного обігу гумусових речовин.

Гуміфікація являє собою складний процес перетворення органічних решток рослин і тварин за поєднанням їх деструкції та синтезу під час біохімічних реакцій за умови утрудненого доступу кисню в темнозабарвлені високомолекулярні гумусові речовини. Він здійснюється мікроорганізмами ґрунту за сприятливих зовнішніх умов та факторів. До останніх належать: наявність багаторічної трав'яної рослинності; помірний гідротермічний режим; помірна інтенсивність мікробіологічної діяльності; наявність у ґрунті мінеральних компонентів (глинистих мінералів), здатних закріплювати гумусові речовини. Швидкість і спрямованість гуміфікації залежить від кількості та хімічного складу рослинних решток, водного і повітряного режиму ґрунтів, складу ґрунтових мікроорганізмів, реакції ґрунтового розчину, механічного складу ґрунту та ін. Згідно з загальними уявленнями утворення ГР ґрунтів відбувається в декілька етапів: спочатку здійснюється формування гумусових кислот, а далі проходить зростання ступеня ароматизації внаслідок часткової деструкції аліфатичних ланцюгів, що пов'язано з процесами окиснення. На формування гумусових речовин витрачається 70-80% органічних решток (див. рис. 3).

Таким чином, формування ГР здійснюється внаслідок дії сукупності біохімічних, біофізичних та фізичних процесів гумусоутворення. До них належать: розкладання решток органічних речовин, їх мінералізація, фізичне, хімічне та біологічне вивітрювання гірських порід, взаємодія ґрунтової флори і фауни з мінеральною частиною ґрунту, мікробний синтез продуктів згаданих процесів та інші (рис. 4). Усі ці процеси відбуваються в осередку ґрунтової екосистеми (див. рис. 1), де створюється відповідний водний та повітряний режими. Із зовнішнього середовища надходить енергія, що є рушійною силою зазначених

процесів. Поєднання вказаних чинників, особливості їх добового та річного ходу, сезонні відмінності, кліматичні умови відповідної місцевості визначають можливості, напрямки, інтенсивність, обсяги і наслідки гуміфікації.

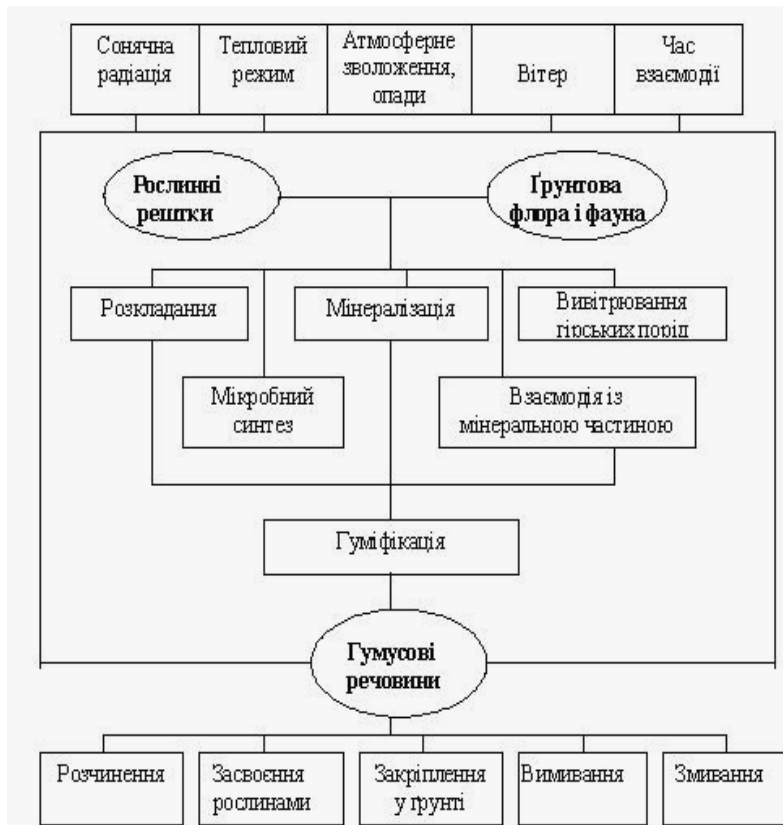


Рис. 4. Схема процесів гуміфікації та геохімічного обігу гумусових речовин

Вплив метеорологічних чинників та клімату на процеси ґрунтоутворення

Процеси ґрунтоутворення, розподілу та вмісту гумусу значною мірою визначаються впливом погоди й клімату, сукупно за особливостями притоку сонячної радіації, теплового режиму, атмосферних опадів, вітру тощо. Сонячна енергія, ввібрана ґрунтом, витрачається на такі процеси, як зміна його спектральних характеристик, нагрівання ґрунту, випаровування вологи, розкладання органічних решток, синтез гумусу тощо. Величини радіаційного балансу корелюють із термічними показниками. Разом з тим вони визначають ступінь гумусоутворення, що відображається ландшафтними зональними ознаками за періодичним законом географічної зональності

О.А.Григор'єва та М.І.Будико [2]. Температура ґрунту впливає на швидкість хімічних реакцій, міграцію і засвоєння речовин.

За вперше поданим визначенням В.В.Докучаєва [11] клімат поряд із материнською породою, рослинністю та іншими живими організмами, рельєфом, висотою місцевості, геологічним віком країни тощо є провідним чинником ґрунтоутворення. Його роль, на наш погляд, визначається особливостями добової, сезонної й вікової динаміки метеорологічних явищ, процесів та величин. За закономірностями енерго-і масообміну вони спрямовують зміст, напрями, якість, обсяги гумусоутворення та здатність формувати родючість ґрунту.

Вплив сукупності властивостей атмосфери на ґрунтоутворення, незважаючи на їх провідне значення, досліджено досить поверхово. Відносно детальним визначенням ролі окремих метеорологічних чинників у ґрунтоутворенні, сформульованим на основі робіт В.В.Докучаєва, слід вважати роботу Г.Йенні [12]. Зазвичай, результати подібних досліджень наводяться у вигляді кліматичних класифікацій ґрунтів (Д.Г.Віленський, К. Торнтвейт та ін.), ґрунтових класифікацій клімату (В.Р.Волобуєв, та ін.. 1963). Узагальнені характеристики зональних ґрунтових екосистем, що базуються на ідеях В.А.Докучаєва з урахуванням досліджень Г.Т.Селянінова [22], М.І.Будико [2], В.Р.Волобуєва [4], наведені нами в табл. 2.

Зазначимо, що в більшій частині досліджень значення гідрометеорологічних процесів у ґрунтоутворенні висвітлюється опосередковано, через їх вплив на формування біомаси, яка у вигляді рослинних решток бере участь у гуміфікації. Ця обставина не викликає заперечень. Але, на нашу думку, вплив атмосфери, погоди, клімату набагато істотніший, глибший, що до цього часу не враховувалось у ґрунтознавчих дослідженнях.

Склад органічної частини ґрунту (див. рис. 2), наслідки гуміфікації за якістю, обсягами та розподілом ГР у середовищі (див. рис. 3), характеристики процесів гуміфікації (тривалість, інтенсивність, обсяги, просторові ознаки тощо), цілком підпорядковані особливостям гідрометеорологічного режиму атмосфери і ґрунту.

Таблиця 2

Узагальнені характеристики зональних ґрунтових екосистем

Природна зона за ландшафтними, ґрунтовими та кліматичними ознаками	Характеристика флори та фауни	Особливості гірських порід	Провідні риси вивітрювання та гуміфікації	Річні характеристики клімату					Характеристики ґрунту	
				Тривалість сонячно го сьйва	Температура повітря, °С	Кількість опадів, мм	Сума температур або ГТК	Індекс сухості	запаси гумусу, т/га	запас NPK, т/га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I. Бореальна, ґрунти тундри (бурі)	Рослинність трав'яниста зі слабо розвиненою кореневою системою, переважають мохи та лишайники	Післяретинні моренні та морські відклади	Слабкі, значна акумуляція грубого та кислого гумусу; вічна мерзлота нижче 0,5 – 1 м	900-1200	-2 - -18	100–500	60 – 700	≤ 0,4	70	
II. Лісова, ґрунти підзолисті, світлобурі Лісотундра Тайга Змішані ліси	Тайга із слабким підліском та бідною трав'янистою рослинністю. Кроти, черв'яки, комахи і ін.	Моренні відклади грубі, малозмінені	Досягають максимуму одночасно, у ґрунтах акумулюються Fe, Cl ₂ O, S ₂ O, CaO ₂ та інші солі, що виносяться з горизонту С	1200-1600 1200-1400 1300-1500 1400-1600	8 – 19	600–750 675–850 650–800	700–1200 1200 – 1600 1600-2200	0,4 – 1,1 0,6 – 0,1 0,6 – 1,0	100	6,6
III. Лісостепова, ґрунти сіроземи світлі типів темні	Листяні ліси з розвиненим підліском та значні степові галявини з розвиненим трав'яним покривом. Фауна змішана між II та IV зонами	Моренні відклади, вивітрені, слабо лесовидні	Мають змінний характер. Горизонт В визначений оригінальною горіховидною структурою та сіропідзолистим кольором	1600-2300 1600-2000 1800-2300	0 – 22	300–800 650–600	2200-2400	0,8-1,2 ≥1,0	70-80 130	12,0 7,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IV. Степова, Чорноземи вилуговані типів звичайні	Переважно злаки з добре розвинутою кореневою системою, на цілині утворюється щільна дернина. Бабаки, тушканчики, миші, черв'яки, комахи і ін.		Значна акумуляція нейтрального та малорозчинного гумусу. Вилуговання слабке, за розкладом утворюються ціоліти. Залізо (Fe) залишається у ґрунті, карбонати акумулюються, сульфати та хлориди виносяться із горизонту С	1600-2600 1600-2000 1800-2300 2100-2600	0-2	300-700	0,7-1,0	1,1-2,3		26,5 35,8 17,0
V. Сухі степи, ґрунти світло-каштанові, темно-каштанові та бурі	Рідкі невисокі трави сірого кольору, відсутність дернини. Фауна змішана між IV та V зонами	Вапнякові та гіпсоносні глини, а також соленосні каспійські відклади	Вилуговання. Процеси попередньої зони слабкіші, акумулюються, поряд із карбонатами також і сульфати. Виносяться тільки хлориди й подібні до них. Структура ґрунту щільна	2100-3100 2100-2500 2400-2800 2700-3000	0-24	100-800	0,5-0,7	2,0-2,4	70-100	

Такі ознаки сонячної радіації, як спектральний склад, інтенсивність та тривалість дії визначають структурні особливості, енергетичні межі та тривалість діяльності мікрофлори. За змістом цих процесів відбувається розкладання органічних решток, швидкість і повнота реакцій, час початку і закінчення будь-якої взаємодії органічних речовин за особливостями сонячного випромінювання. Однак наведені характеристики не висвітлені у відомих нам джерелах.

Термічний режим процесів гумусоутворення обмежується екологічними екстремумами та оптимумами. У поєднанні з часовими характеристиками вони мають чітко позначити початок, тривалість, закінчення та закономірності будь-якого зі згаданих процесів, а також термічні потреби на їх здійснення, місце чи розміщення за ознаками сезонного та річного ходу. Разом з тим, зазначені термічні ознаки гумусоутворення можуть допомогти розв'язати питання обсягів, шляхів, протяжності та швидкості пересування гумусових речовин.

Режим зволоження ґрунту є провідною ознакою масообміну хімічних речовин у ґрунтового розчині, що формує обсяги та інтенсивність розчинення речовин, засвоєння їх рослинами, закріплення у ґрунті, змивання, вимивання тощо. За цими властивостями має бути визначена відносна роль водного режиму ґрунту у формуванні та міграції гумусових речовин.

Склад атмосферного та ґрунтового повітря і співвідношення між парціальним тиском вміщених у них газів визначають, головним чином, спрямованість і інтенсивність утворення біомаси. Але ці ознаки є домінуючими у формуванні аеробного чи анаеробного типів гуміфікації та інших процесів, від яких залежать наслідки взаємодії мікрофлори та рослинних решток ґрунту.

Інші метеорологічні чинники такі, як вітер, вологість повітря мають другорядне значення, але за певного збігу обставин вони можуть справляти визначальний вплив. Це окреме специфічне питання, якого у цій роботі ми не торкаємось.

Окрім висвітлених загальних поглядів щодо участі атмосферних процесів у ґрунтоутворенні існують інші підходи, засновані на засадах математичної фізики. Вони започатковані Д.Л.Лайхтманом та А.Ф.Чудновським [16] і ін. й стосуються часового і просторового здійснення теплообміну та вологообміну в ґрунті [15].

Так, тепловий потік у ґрунті q_T описується рівнянням:

$$q_T = -\alpha_S \frac{\partial T_S}{\partial Z}, \quad (3)$$

де α_S – коефіцієнт теплопровідності; T_S – температура ґрунту; Z – глибина.

Рівняння теплопровідності ґрунту визначається виразом (за А.Ф. Чудновським) [14]:

$$C(x,t) \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x,t) \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right], \quad (4)$$

де $C(x,t)$ – теплоємність ґрунту; $\lambda(x,t)$ – рівняння ефективної теплопровідності, в якому, на відміну від канонічного, що містить постійні значення теплофізичних характеристик, присутні змінні коефіцієнти теплопровідності λ , об'ємної теплоємності C та їх відношення – коефіцієнт температуропровідності $k = \lambda/c$.

Згадані характеристики визначаються фізичними властивостями головних складових ґрунту: материнської породи, кількістю вологи, обсягами ґрунтового повітря та гумусу. Безпосереднє дослідження їх викликає значні експериментальні труднощі. Тому використовують непрямий шлях визначення виразів $\lambda(x,t)$, $C(x,t)$, $k(x,t)$, який може складатись із таких етапів:

- Визначення особливостей зміни вологості (W), щільності (ρ) та дисперсності (d) (d – визначає розмір ґрунтових зерен); залежно від x і t за отриманими даними визначаються емпіричні зв'язки $W(x,t)$, $\rho(x,t)$, $d(x,t)$.
- Виділення класифікації груп функцій за типами розподілу показників $\lambda(W, \rho, d)$, $C(W, \rho, d)$, $k(W, \rho, d)$, які відображають співвідношення між сукупними теплофізичними характеристиками ґрунту і його складовими.
- На основі даних, отриманих на попередніх етапах, визначають кількісні характеристики $\lambda(x,t)$, $c(x,t)$, $k(x,t)$, які підставляють у рівняння теплопровідності (4) та розв'язують його.

Фізичні властивості ґрунту істотно змінюються з глибиною. Вони більш різкі та яскраво виражені у порівнянні з часовими коливаннями $\lambda(t)$, $c(t)$, $k(t)$, за винятком поверхневого шару.

Відомо емпіричні залежності теплоємності C_s і коефіцієнта теплопровідності α_s для основних типів ґрунтів:

$$C_s = C_s(\rho_s, W_s), \quad (5)$$

$$\alpha_s = \alpha_s(\rho_s, W_s), \quad (6)$$

де ρ_s – щільність ґрунту; W_s – вологість ґрунту.

Згідно з правилом Вант-Гоффа при підвищенні температури на 10°C швидкість хімічних реакцій збільшується у 2-3 рази. Тому в районах з високою середньорічною температурою геохімічні процеси відбуваються більш інтенсивно, ніж у широтах з холодним кліматом. Це зумовлює різні характеристики складу, швидкості й обсягів гумусоутворення та вивітрювання.

Одним з важливих процесів є випаровування ґрунтової вологи, який, у свою чергу, залежить від її наявності, обсягів і температури середовища. Випаровування зумовлює підвищення концентрації ґрунтового розчину з наступним осадженням солей, що спричиняє утворення вторинних мінералів і соленакопичення в ґрунтах.

Крім того, температура впливає на ступінь розчинення газів у ґрунтовому розчині, на швидкість коагуляції і пептизації та на інші фізико-хімічні процеси.

Таким чином, термічний чинник є одним з основних у процесах гуміфікації, мінералізації та міграції гумусових речовин.

За виразами (5), (6) вологість ґрунту є провідною характеристикою теплових властивостей ґрунту. Основне рівняння динаміки ґрунтової вологи за роботою [25] має вигляд:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_s(W) \frac{\partial \psi_s(W)}{\partial z} + K_s(W) \right] - S_w, \quad (7)$$

де $K_s(W)$ – коефіцієнт пропорційності між градієнтом потенціалу і щільністю потоку в залежності від вологості ґрунту, що називається коефіцієнтом вологопровідності ґрунту за даної вологості; ψ_s – хімічний потенціал одиниці об'єму води в ґрунті $\Delta\mu_s$ відносно такої кількості вільної води, розміщеної на тій же висоті z у вигляді середнього парціального молярного об'єму води ν_w

$$\psi_S = \frac{\Delta\mu_S}{V_W}. \quad (8)$$

Хімічний потенціал разом з кількістю води в ґрунті визначає ступінь її рухливості за механізмом молекулярного вологообміну, що впливає з виразу (7).

Повний потенціал ґрунтової води (φ_S) вміщує суму хімічного та гравітаційного ψ_z потенціалів:

$$\varphi_S = \psi_S + \psi_z. \quad (9)$$

Низхідний рух ґрунтової води з гумусовими речовинами за гравітаційним потенціалом формує генетичні горизонти ґрунту.

Вологозапаси ґрунту визначаються опадами, вплив яких на ґрунтоутворення виявляється за кількістю та сезонним розподілом. Атмосферні опади, просочуючись у ґрунт, розчиняють мінеральні та органічні сполуки, переміщують їх у нижні горизонти, переносять рухомі форми сполук і механічні частинки з підвищених елементів рельєфу на понижені. Ці процеси здійснюють води поверхневого і підземного стоків. В умовах перезволоження значно підвищується кислотність ґрунту, знижується вміст гумусу і ємність вбирання. З атмосферними опадами на поверхню ґрунту надходять пилюваті частки, розчинені солі, кислоти, азот, аміак, токсичні сполуки. Затиснена у ґрунті волога атмосферних опадів утримується в порах і капілярах та використовується рослинами для синтезу органічної речовини. Остання у подальшому витрачається на поповнення запасу гумусових речовин і є джерелом енергії та живлення для тварин і мікроорганізмів. Таким чином, атмосферні опади прямо і опосередковано впливають на процеси гуміфікації.

Ступінь зволоження ґрунту зумовлює його хімічний склад. У гумідних ландшафтах посилюється промивання ґрунту, підвищується вміст гумусу, глинистих мінералів і вбирна здатність ґрунту. В аридних областях формуються ґрунти з високим вмістом карбонатних сполук і водорозчинних солей, з низьким вмістом гумусу і малою ємністю поглинання.

Вітер, як чинник ґрунтоутворення, переносить мінеральні й органічні частки з однієї території на іншу, перерозподіляє опади, посилює випаровування і, таким чином, бере участь у формуванні механічного, хімічного складу ґрунту і його водного режиму.

Крім обміну речовин у процесі ґрунтоутворення відбувається обмін енергії. Ґрунт, як самостійне природне тіло, є певною термодинамічною системою, а основним джерелом теплової енергії для всіх процесів ґрунтоутворення є сонячна радіація. Згідно з даними В.Р. Волобуєва, енергія, яка бере участь у ґрунтоутворенні, витрачається на випаровування, вивітрювання, транспірацію, перетворення органічних і мінеральних речовин мікроорганізмами, механічне переміщення солей та тонкодисперсних часток. Значна частина енергії акумулюється саме в гумусі. За даними В.А. Ковди [13], сумарний запас гумусу на суші планети становить $2,4 \cdot 10^{12}$ т, в якому акумульовано $5,44 \cdot 10^{19}$ кДж внутрішньої енергії, що у 20-30 разів більше, ніж у рослинній біомасі.

Сумарні витрати енергії на ґрунтоутворення визначаються вологістю ґрунту і збільшуються від тундри до тропіків більш як у 20 разів. Найменші величини характерні для тундри і пустель (8-20 кДж/см²·рік), найбільші – у вологих тропіках (250-290 кДж/см²·рік) та в лісовій і степовій зонах помірного поясу (42-167 кДж/см²·рік). Основна частка енергії (95-99,5%) витрачається на випаровування і транспірацію, на біологічні процеси припадає близько 0,5-5,0%, на процеси вивітрювання – соті і тисячні частки процента.

Значення геохімічного обігу гумусових речовин

Геохімічний обіг гумусових речовин відбувається в ґрунтовому та водному середовищах як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках. Висхідні потоки пов'язані з мінералізацією ГР і їх подальшою асиміляцією рослинами. Низхідні потоки зумовлені міграцією ГР у нижні частини ґрунтового профілю та за його межі і більш характерні для ФК, що пояснюється їх високою розчинністю. Згадана властивість ФК призводить до горизонтальної міграції ГР з поверхневими водами та надходження їх у поверхневі води (див. рис.4).

Основною речовинною складовою геохімічного обігу гумусових речовин є наявність ґрунтових вод у ґрунтоутворювальній породі та на глибині гумусового горизонту.

Розподіл гумусових речовин у поверхневих водах визначається фізико-географічними умовами. Найбільші кількості ГР виявлено у водах гумідної зони, а при зростанні аридності кліматичних умов вміст гумусу знижується. В Україні найвищий вміст ГР спостерігається в басейнах р. Прип'ять і верхнього Дніпра, які характеризуються високою

заболоченістю. У річках басейну Дніпра вміст ГР становить домінуючу частку розчинених органічних речовин, а межі їх коливань змінюються для ГК в інтервалі $0,25-5,7 \text{ мг/дм}^3$, а ФК – $6,5-50,7 \text{ мг/дм}^3$ [17-19].

Окрім надходження ГР з водозбірної площі можливе також їх утворення за рахунок автохтонних процесів. Джерелом власне водного гумусу є продукти метаболізму гідробіонтів, особливо фітопланктону. Гумусові сполуки такої природи більше властиві водоймам з уповільненим стоком.

У поверхневих водах співвідношення ГК і ФК протилежне тому, що спостерігається в ґрунтах, і становить у середньому $1 : 10$. Це пов'язано з різною міграційною здатністю ГК і ФК.

Вміст гумусових кислот у поверхневих водах виявляє чітку сезонну варіабельність – значне зростання в період повені і зниження протягом межені. Встановлено взаємозв'язок між витратами води і концентраціями розчинених ГК і ФК як протягом року, так і за багаторічний період [17-19], (рис. 5). Це свідчить про переважно алохтонний характер надходження гумусових речовин у водні екосистеми.

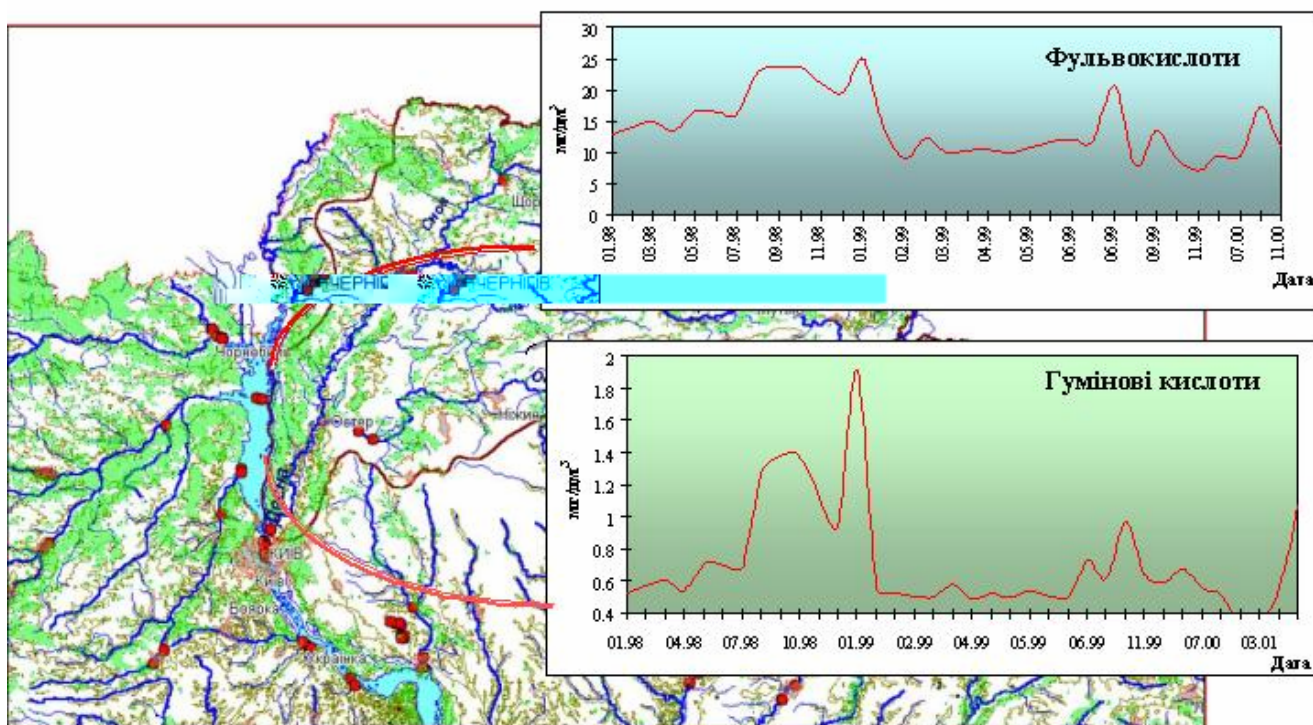


Рис. 5. Динаміка вмісту гумусових речовин у воді Київського водосховища

ГР належать до біохімічно стійких органічних речовин, що слабо піддаються мінералізації бактеріопланктоном у водному середовищі. Подальша трансформація розчинених у воді гумусових речовин переважно визначається процесами їх адсорбції на завислих частках мінерального походження. Істотно впливає на цей процес величина рН води, іонна сила і початкова концентрація гумусових речовин. Припускають, що у взаємодії „мінеральні речовини – гумус“ задіяні процеси обміну лігандів, електростатична взаємодія, Ван-дер-Ваальсові сили, гідрофобний ефект та ін. Домінуючий процес залежатиме від природи мінеральної частини (оксиди Fe чи Al, глинисті мінерали (алюмосилікати)). Міграція ГР на зависях також виявляє чітку сезонну закономірність з максимумом у період водопілля та мінімумом під час межени. Виведені з фази розчину ГР накопичуються в донних відкладах. При цьому ГК мають більшу порівняно з ФК здатність до накопичення. Якщо у воді співвідношення ГК і ФК зазвичай становить 1:10, то в донних відкладах це співвідношення значно вужче. Це пояснюється тим, що адсорбція речовин з більшою молекулярною масою термодинамічно більш вигідна, відповідно крутизна ізотерми адсорбції ГК вища порівняно з такою для ФК.

З огляду на розглянуті положення виникає потреба створити концептуальну модель гумусу за поєднанням властивостей ґрунту, водних об'єктів і атмосфери. Головними її набутками слід очікувати системні уявлення про структуру й властивості гумусу в різних середовищах, його залежність від ґрунтоутворювальних чинників та процесів (гірської породи, атмосфери, клімату, живих організмів і їх решток тощо) та вплив гумусу на фізичні, хімічні, біологічні властивості ґрунту і властивості рослин. Головними завданнями наукового й практичного значення слід вважати дослідження механізмів утворення міграції та трансформації гумусових речовин в залежності від особливостей енерго- і масообмінних процесів середовища ґрунту, атмосфери, гідросфери тощо.

Висновки

За тривалий період дослідження гумусових речовин ґрунтів і водних об'єктів сформовано певні уявлення про їх структуру.

На основі узагальнення різних підходів сформульовано основні особливості гумусоутворення та висвітлено роль окремих чинників у цьому процесі. Уперше визначено зміст і структуру ґрунтової екосистеми, роль клімату, як провідного чинника ґрунтоутворення за його впливом через сонячну радіацію, опади, температуру і опосередковано через

рослинність та рельєф місцевості. Показано роль гумусу в процесі живлення рослин і забезпечення врожайності.

Розглянуто геохімічний обіг гумусових речовин, який разом з чинниками, що його зумовлюють, становить головну складову родючості ґрунту. Розподілено джерела та наслідки гуміфікації і складу гумінових речовин, упорядковано схему процесів гуміфікації та геохімічного обігу гумусових речовин. Визначено принципи та фактори гідрометеорологічних особливостей утворення і динаміки гумусових речовин. Визначені напрямки потребують подальшого вивчення за недостатньої уваги до питання геохімічного кругообігу гумусових речовин, закономірностей їх розподілу й міграції в ґрунті і воді. Як наслідок, до цього часу не висвітлено співвідношення цих процесів, не визначено роль гумусових речовин у формуванні енерго- і масообмінних властивостей ґрунту.

* *

Рассмотрен состав, свойства и основные механизмы образования гумусовых веществ в почвах. Охарактеризованы некоторые закономерности их геохимического оборота. Показана роль метеорологических факторов и климата на процессы почвообразования.

* *

1. *Александрова Л.Н., Гречишин И.П., Кауричев И.С. и др. Почвоведение. – М.: Колос, 1969.*
2. *Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 254 с.*
3. *Возбуцкая А.Е. Химия почв. – М.: Высшая школа, 1964.*
4. *Волобуев В.Р. Экология почв (очерки). – Баку, Изд. АН Азерб. СССР, 1963. – 260 с.*
5. *Гедройц К.К. Избранные сочинения. Т. 1-3. – М. – 1955.*
6. *Горевая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества. – К.: Наукова думка, 1995, -304с.*
7. *Гришина Л.А. Гумосообразование и гумусное состояние почв. – М.: МГУ, 1986.-244 с.*
8. *Дмитренко В.П. Географический максимум урожайности сельскохозяйственных культур // Труды укрНИГМИ. – Вып. 131. – 1974. – С.3-10.*

9. *Дмитренко В.П.* Плодородие почвы и плодотворности климата – научные основания оценки и использования земли в условиях реформирования сельскохозяйственного производства и проведения земельной реформы: Тез. докл. междунар. научно-практической конф. , Киев – Чабаны, 8-9 июня 1995 г. – Киев, 1995. – С. 112-113.
10. *Дмитренко В.П., Короткова А.Я.* О физических признаках плодородия почвы и их связи с урожайностью сельскохозяйственных культур // Труды УкрНИГМИ. – Вып. 72. – 1968 – С. 3-15.
11. *Докучаев В.В.* Наши степи прежде и теперь. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 152с.
12. *Иенни Г.* Факторы почвообразования. – М.: Госизд. ин-та лит., 1948. – 348 с.
13. *Ковда В.А.* Основы учения о почвах. Т. 1, 2. – М.: Колос, 1973, 1977.
14. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 266 с.
15. *Нертин С.В., Чудновский А.Ф.* Энерго- и массообмен в системе растения – почва – воздух. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 358 с.
16. *Лайхтман Д.Л., Чудновский А.Ф.* Физика приземного слоя атмосферы. – Л.: - М.: Гос. издат. техн.-теор. л-ры. – 254 с.
17. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: МГУ, 1990. – 325с.
18. *Орлов Д.С.* Химия почв. – М.: МГУ, 1985. – 376 с.
19. *Осадчая Н.В., Осадчий В.И.* Гумусовые вещества в воде днепровских водохранилищ // Наукові праці УкрНДГМІ. – 1999. – Вип. 247. – С. 189-201.
20. *Осадчая Н.В., Осадчий В.И.* Оценка выноса растворенных органических веществ гумусовой природы со стоком р. Припять // Труды УкрНИГМИ. – Вып. 249. – 2001. – С.161-177.
21. *Осадча Н.В., Осадчий В.І.* Стік розчинених гумусових речовин з басейну Прип'яті: розрахунок, чинники, річний розподіл // Український географічний журнал, №1. – 2002. – С. 51-57.
22. *Селянинов Г.Т.* Климатическое районирование СССР для сельскохозяйственных целей // Памяти академика Л.С.Берга. – АН СССР. – М-Л., 1955, С.187-225.
23. *Тейт Р.Т.* Органическое вещество почвы. – М.: Мир, 1991. – 400с.
24. *В.И. Тюрин.* Вопросы генезиса и плодородия почв. – М.: Наука, 1966.
25. *Федоров В.Д., Гильманов Т.Г.* Экология. – М: Изд-во. Моск ун-та, 1980. – 464 с.
26. *Чорний І.Б.* Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства: Навч. посібник. – К.: Вища школа, 1995. – 240 с.

27. *Dmytrenko V.P.* Fruitfulness of Climate is the Basic of the General Concept of Agrometeorological Adaptation Strategies to Climate Variability and Climate Change//WMO/TD №1029/ Geneva, Switzerland, May 2001, P. 43-44 / CAgm Report №77.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*