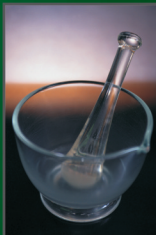


О. Є. Пахомов
О. О. Дідур
Ю. Л. Кульбачко
І. М. Лоза

ЕКОХІМІЧНІ АСПЕКТИ ІСНУВАННЯ БЕЗХРЕБЕТНИХ ТВАРИН У ҐРУНТІ: МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ



2010

Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет
ім. Олеся Гончара

О. Є. Пахомов, О. О. Дідур, Ю. Л. Кульбачко, І. М. Лоза

**ЕКОХІМІЧНІ АСПЕКТИ
ІСНУВАННЯ БЕЗХРЕБЕТНИХ ТВАРИН У ҐРУНТІ:
МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Дніпропетровськ
РВВ ДНУ
2010

УДК 591.5 : 631.4 (075)
ББК 28.680я7+40.3я7
Е 45

Рецензенти:

д-р біол. наук, проф. М. М. Ярошенко
д-р біол. наук, проф. І. А. Мальцева
д-р біол. наук, проф. Ю. І. Грицан

Е 45 Екохімічні аспекти існування безхребетних тварин у ґрунті: методи вивчення [Текст]: навч. посіб. / О. Є. Пахомов, О. О. Дідур, Ю. Л. Кульбачко, І. М. Лоза. – Д.: РВВ ДНУ, 2010. – 176 с.

Розглянуто екологічні аспекти ґрунтової зоології – взаємодію тваринного світу з ґрунтом; роль біоти у формуванні ґрунтового профілю, утворенні гумусу, міграції та акумуляції хімічних елементів; вплив фізичних властивостей ґрунту на формування ґрунтових тваринних угруповань. Наведено еколого-фауністичну характеристику основних таксонів ґрунтових безхребетних та методи їх обліку. Викладено класичні та новітні методики дослідження ґрунту як середовища існування ґрунтових тварин.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальностей “Зоологія та екологія тварин”, “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”. Може бути корисний для аспірантів, наукових співробітників.

*Гриф наданий Міністерством освіти і науки України
Лист № 1/11-4092 від 17.05.10*

© Пахомов О. Є., Дідур О. О.,
Кульбачко Ю. Л., Лоза І. М., 2010

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Функції ґрунтів	7
1.1. Поняття про елементарні ґрунтові процеси	7
1.2. Екологічні функції ґрунтів	12
1.3. Ґрунт як середовище існування безхребетних тварин	24
Список рекомендованої літератури до розділу 1	28
Розділ 2. Еколого-фауністична характеристика основних представників ґрунтових безхребетних	30
2.1. Тип Найпростіші (Protozoa)	30
2.2. Тип Кільчасті черви (Annelida)	34
2.3. Тип Круглі, або Первиннопорожнинні черви (Nemathelminthes)	36
2.4. Тип Членистоногі (Arthropoda)	39
2.5. Тип Молюски (Mollusca)	46
Список рекомендованої літератури до розділу 2	46
Розділ 3. Методи обліку ґрунтової фауни	48
3.1. Методи обліку протистофауни (нанофауни)	48
3.2. Методи обліку мікрофауни	51
3.3. Методи обліку представників мезофауни	53
3.4. Методи фіксації тваринних матеріалів	59
Список рекомендованої літератури до розділу 3	61
Розділ 4. Лабораторні методи дослідження екологічних властивостей ґрунту як середовища існування тварин	62
4.1. Відбір проб і підготовка ґрунту до фізико-хімічного аналізу	62
4.1.1. Морфологічна характеристика ґрунтового профілю.....	62
4.1.2. Завдання та методи дослідження ґрунтів	63
4.1.3. Підготовка ґрунту до фізико-хімічного аналізу	65
4.2. Вологість ґрунту	66
4.2.1. Польова вологість	66
4.2.2. Гігроскопічна вологість	67
4.2.3. Максимальна гігроскопічна вологість	68
4.2.4. Повна вологоємність ґрунту	69

4.3. Поняття про біологічну активність ґрунту. Найпростіші методи її визначення	71
4.3.1. Визначення інтенсивності розкладання клітковини (за Мішустиним, Востровим, Петровою)	71
4.3.2. Польовий адсорбційний метод визначення дихання ґрунту, або емісії CO ₂ (за Карпачевським)	72
4.4. Рослинний і екскреторний опад як джерело надходження органічної речовини в ґрунт	73
4.4.1. Визначення вмісту поліфенолів і лігніну	75
4.4.2. Методика визначення клітковини	79
4.4.3. Визначення вмісту моносахаридів і дисахаридів	82
4.4.4. Методика визначення колінів (за А. М. Гродзінським)	82
4.5. Органічна речовина ґрунту. Гумус	86
4.5.1. Визначення загального вмісту карбону органічних сполук за методом Тюріна	87
4.5.2. Визначення групового складу гумусу ґрунтів прискореним (пірофосфатним) методом Конової та Бельчикової	90
4.5.3. Головні показники гумусового стану ґрунтів	95
4.6. Фонд загального та нітратного нітрогену, фосфатів і калію в ґрунті	97
4.6.1. Колориметричний метод визначення загального нітрогену	97
4.6.2. Визначення нітратного нітрогену	101
4.6.3. Методи визначення фосфатів	104
4.6.4. Визначення різних за доступністю форм калію	109
4.7. Особливості ґрунтово-поглинального комплексу та його зв'язок із ґрунтовими тваринами. Обмінні основи і кислотність ґрунту	113
4.7.1. Визначення обмінних форм хімічних сполук кальцію та магнію	115
4.7.2. Методика визначення обмінних форм хімічних сполук калію та натрію	117
4.7.3. Обмінна кислотність ґрунту	119
4.7.4. Гідролітична кислотність ґрунту	124
4.7.5. Обчислення ступеня насиченості ґрунтів основами	125
4.8. Аналіз легкорозчинних солей ґрунту	126
4.8.1. Сухий, або щільний, залишок водної витяжки	128
4.8.2. Вимірювання <i>pH</i> витяжки ґрунту	130
4.8.3. Аніонний склад	131
4.8.4. Катіонний склад	134
4.8.5. Розрахунок вмісту токсичних солей	138
4.8.6. Типи розподілу речовин у ґрунті	141
4.8.7. Оцінка ступеня засолення ґрунту	142
4.8.8. Приклад інтерпретації результатів аналізу водної витяжки	144

4.9. Озолення як етап у ході визначення зольного складу біологічного матеріалу	146
4.9.1. Пробопідготовка	147
4.9.2. Озолення матеріалу	147
4.10. Визначення рухомих форм сполук мікроелементів	149
4.10.1. Визначення вмісту рухомих форм сполук мікроелементів атомно-абсорбційним методом	150
4.10.2. Розрахунок вмісту мікроелементів	157
4.11. Буферність ґрунту	159
4.11.1. Визначення буферності ґрунту за Арреніусом	160
4.11.2. Приклад розрахунку площі буферності та інтерпретації результатів	162
4.12. Фізичні властивості ґрунтової маси, які обумовлюють існування ґрунтової біоти	165
4.12.1. Якісне визначення консистенції ґрунту	166
4.12.2. Визначення твердості (щільності) ґрунту	167
4.12.3. Якісне визначення вологості ґрунту в польових умовах	168
4.12.4. Методика визначення механічного складу ґрунту польовим способом (за Качинським)	169
Список рекомендованої літератури до розділу 4	170
Основні правила роботи з хімічним посудом і реактивами	173
Додаток	174

ВСТУП

Тваринне населення ґрунту являє собою облігатний структурно-функціональний комплекс. За визначенням В. В. Докучаєва, ґрунт – четверте природно-історичне тіло, яке разом із атмосферою, гідросферою, літосферою та біосферою здавна привертає увагу дослідників. Головною властивістю ґрунту як середовища існування біоти є значне різноманіття ґрунтових умов. Завдяки їм ґрунтові тварини захищені від екстремального впливу факторів довкілля, а також мають можливість вибору необхідних умов існування та живлення в межах ґрунтового профілю.

Відкриття нових екологічних функцій ґрунтів обумовило розширення і поглиблення знань із ґрунтової біології. Вивчаючи її, ми досліджуємо екологічні аспекти ґрунтознавства, зокрема тваринний світ ґрунту, його взаємодію з твердою, рідкою, газоподібною і біотичною фазами ґрунту. Ґрунтові безхребетні за таксономічним різноманіттям, чисельністю, структурно-функціональними характеристиками в багато разів переважають хребетних тварин. Вони виконують велику кількість екологічних функцій, найважливішою з яких є ґрунтоутворювальна.

Біологічне різноманіття, життєдіяльність ґрунтових організмів вивчають науки, що виникли на межі різних розділів біології та ґрунтознавства. Серед таких можна відзначити ґрунтову зоологію, об'єктом дослідження якої є представники різних структурно-функціональних і екологічних угруповань тварин, об'єднаних загальною властивістю – їх участю в проходженні ґрунтових процесів та впливом на них.

На сучасному етапі розвитку зооекології, функціональної зоології та ґрунтової біології актуально те, що ґрунтова біота не тільки пов'язана з фізико-хімічними градієнтами ґрунту (температурою, вологістю, кислотністю, засоленням, складом обмінних катіонів і т. ін.), а й впливає на них (разом із наземною фауною) шляхом перетворення ґрунту як середовища існування. Така ґрунтоутворювальна функція тварин – важливий біогеоценотичний (екосистемний) процес, пов'язаний із середовищевірною та середовищеперетвірною діяльністю тварин і їх угруповань.

Таким чином, ґрунтові безхребетні тварини впливають на фізичні, хімічні властивості ґрунтів, тобто змінюють хімічні реакції, переміщують у просторі хімічні елементи та сполуки, розкладають органічну речовину, інтенсифікують біологічну активність ґрунтів, створюють нові форми мікрорельєфу, є чинником формування самої ґрунтової фауни тощо. Вони сприяють створенню особливого екохімічного пласта, дослідження якого потребують синтезу знань із ґрунтової зоології, ґрунтознавства, екології тварин, аналітичної хімії ґрунтів та інших наук.

РОЗДІЛ 1 ФУНКЦІЇ ҐРУНТІВ

1.1. ПОНЯТТЯ ПРО ЕЛЕМЕНТАРНІ ҐРУНТОВІ ПРОЦЕСИ

Ґрунтовий профіль як сукупність генетичних горизонтів є результатом прояву різних елементарних процесів ґрунтоутворення. Ґрунтоутворювальний процес на земній поверхні відбувається під впливом численних факторів ґрунтоутворення, що обумовлює різноманіття типів ґрунтоутворення й відповідних їм типів, підтипів, родів і видів ґрунтів. У той же час у різних ґрунтах повторюються одні й ті самі процеси, істотно схожі, відмінні лише деталями свого прояву. Наприклад, гумусонакопичення – єдиний процес для всіх ґрунтів. Однак його прояв може різнитись як кількісно (накопичення 600 і 50 т гумусу на 1 га), так і якісно (накопичення гумусу гуматного або фульватного типу). Іншим прикладом може бути оглеєння, характерне для різних типів ґрунту, що мають надлишкове зволоження в тій або іншій частині профілю. Також неоднаково в різних типах ґрунтів можуть проявлятися лесиваж та вилуговування.

Спільні для різних типів ґрунтоутворення процеси одержали назву елементарних ґрунтових процесів. Вони пов'язані з перетворенням органічної й мінеральної частин ґрунту та процесами міграції (рис. 1.1.1).



Рис. 1.1.1. Схема функціональної здатності ґрунту¹

“Сировина” у вигляді мінералів і насамперед відмерлих органічних (головним чином рослинних) решток є матеріалом для ґрунтоутворення. Вона в певних умовах змінюється з часом. Така трансформація відбувається постійно. Отже, ґрунт постійно функціонує, тобто “живе”.

¹ Тут і далі рисунки виконала канд. біол. наук І. М. Лоза.

Суть перетворення органічної й мінеральної частин ґрунтів полягає в синтезі й розкладанні. Ці процеси є глобальними – вони характерні для всіх без винятку ґрунтів нашої планети. Ступінь їх прояву та інтенсивність розвитку обумовлений екологічними умовами. Співвідношення цих взаємопротилежних процесів може бути різним. В одних випадках синтез переважає над розкладом (наприклад, у цілинних чорноземах процес синтезу гумінових кислот інтенсивніший, ніж їх розклад); в інших, навпаки, розклад переважає над синтезом (у разі засолення ґрунтів їх структура руйнується внаслідок проникнення йона натрію в ґрунтово-поглинальний комплекс і витіснення з нього двовалентних катіонів, насамперед кальцію). Іноді синтез приблизно дорівнює розкладанню (цей випадок характерний для клімаксових екосистем). Однак рівноваги між цими процесами ніколи не буває.

І. П. Герасимов і М. А. Глазовська (1960) виділили такі види елементарних ґрунтових процесів, об'єднавши їх у три групи:

1. Елементарні процеси, у яких головну роль відіграє перетворення мінеральної частини ґрунту.

Первинне (примітивне) ґрунтоутворення має місце, коли на материнську породу впливають фактори ґрунтоутворення. Для цього процесу характерний початок формування слабкорозвиненого гумусованого горизонту на поверхні материнської (ґрунтоутворювальної) породи. Наявний різкий перехід між верхнім гумусованим горизонтом, що формується, потужністю не більше декількох сантиметрів і материнською породою. Розташована нижче материнська порода не має ознак змін. Первинне ґрунтоутворення властиве піщаним дерново-степовим ґрунтам, ґрунтам яружних схилів, рекультивованих кар'єрів, антропогенних ландшафтів.

Б. Р. Стриганова (2003) указує, що під час вивітрювання гірських порід у процесі первинного ґрунтоутворення тварини формують піонерні угруповання на поверхні мінерального субстрату ще до утворення плівкового примітивного ґрунту, безхребетні локалізуються навколо лишайників, на водоростевих колоніях і в скупченнях дрібнозему. Живлячись живими й відмерлими рослинними тканинами, тварини створюють органогенний (копрогенний) шар, у якому майже 90 % маси становлять їх екскременти. Ця копрогенна маса являє собою основу гумусового горизонту, склад і структура якого поступово ускладнюється і диференціюється в ході рослинної сукцесії і накопичення дрібнозему, рослинного опаду й відмерлої кореневої маси, які переробляють тварини й мікроорганізми. Сукцесія тварин у процесі первинного ґрунтоутворення трохи випереджає формування ґрунтового профілю.

Оглинення (сиалітизація) – перетворення первинних мінералів на вторинні глинисті мінерали (розкладання первинних мінералів і синтез вторинних), пов'язане зі втратою ґрунтом значної частини лужних та лужноземельних основ, а також частини кремнезему з алюмосилікатів. Це обумовлює збільшення глинистості ґрунотворної товщі.

Латеритизація (алітизація, фералітизація) – процес глибокого й тривалого вивітрювання алюмосилікатних гірських порід, який є причиною утворення лате-

ритів – залізистих ґрунтових горизонтів – в умовах вологого тропічного клімату. Для латеритизації характерні інтенсивний виніс кремнезему (SiO_2) і основ (Na, K, Ca, Mg), накопичення оксидів Al, Fe і Ti в залишкових породах. Ґрунтова маса має яскраво-червоне забарвлення або колір цегли (у разі алітного елементарного ґрунтоутворювального процесу), або яскраво-малинове забарвлення верхніх шарів ґрунту і жовто-вохристе забарвлення більш глибоких горизонтів (у разі фералітизації).

2. Елементарні процеси, у яких головну роль відіграє перетворення органічної речовини.

Гумусонакопичення – акумуляція гумусу в поверхневому горизонті ґрунту в результаті розкладання рослинних решток і власне гумусоутворення. При цьому новоутворений гумус поступово переміщується вниз і просочує нижчерозташовану ґрунтову масу. Процес проявляється в утворенні поверхневого темного гумусового горизонту, найбільш темного й структурованого в профілі, що поступово втрачає свій колір і структурованість із глибиною. У нижній частині гумусового горизонту виділяють гумусові затьоки в нижчерозташований горизонт.

Торфонакопичення – консервація відмерлих органічних залишків за досить незначної гуміфікації; проявляється в утворенні поверхневих торф'яних горизонтів.

3. Елементарні процеси, у яких головну роль відіграє перетворення й пересування (міграція) мінеральних і органічних продуктів ґрунтоутворення.

Засолення (солончаковий процес) – нагромадження водорозчинних солей у ґрунтовій товщі за умов підняття мінералізованих ґрунтових вод.

Розсолення (солонцевий процес і осолодіння) – виніс легкорозчинних солей із профілю засоленних ґрунтів.

Ог्लеснення – перетворення мінеральної частини ґрунтової маси в результаті постійного або періодичного перезволоження, що обумовлює інтенсивний розвиток відновних процесів, які час від часу змінюються на окисні. Основні морфологічні ознаки ог्लеснення – неструктурованість і в'язкість ґрунтової маси; плямистість із переважанням синіх, блакитних, зеленуватих, сизих тонів; наявність плям іржавого кольору.

Зрудніння – процес гідрогенного нагромадження оксидів Fe різного ступеня гідратації в товщі ґрунту з утворенням залізистого солончаку або рудякового (ортштейнового) горизонту. На ранніх стадіях процесу (у часі або в просторі) формуються озалізовані торф'яні або мінеральні горизонти, інтенсивно забарвлені вохристо-бурими оксидами Fe, що містять мікроконкреції концентричної будови. На більш пізніх стадіях формуються конкреційні горизонти, що складаються з окремих або зцементованих між собою конкрецій концентричної будови й неправильної форми, а також великих жовен.

Вилуговування – збідніння окремих горизонтів ґрунту основами в результаті виходу їх із кристалічних ґраток мінералів або органічних сполук, їх розчинення й виносу. Власне морфологічних ознак процесу вилуговування практично немає. Єдиним критерієм може бути утворення на деякій глибині в профілі карбонатно-

ілювіального горизонту. У цьому випадку горизонти, розташовані вище нього, вважаються вилугуваними від карбонатів;

Лесиваж – процес пептизування, відмивання мулистих часток і винос їх у незруйнованому стані з елювіального горизонту.

Осолоніння – руйнування мінеральної частини ґрунту під впливом лужних розчинів із накопиченням залишкового аморфного кремнезему й виносом з елювіального (осолоділого) горизонту аморфних продуктів руйнування. Характерною ознакою осолодіння є елювіально-ілювіальна диференціація профілю, кисла реакція його елювіального горизонту та нейтральна (або слабколужна) – ілювіального. Осолоділий горизонт має сизувато-білясте або сірувато-білясте забарвлення, шарувату або лускату структуру, розмиту нижню межу, містить борошністу присипку кремнезему. Оскільки осолодіння зазвичай супроводжує поверхнєве сезонне перезволоження, то в осолоділому горизонті відбувається сегрегація оксидів феруму і утворення дрібних залізистих конкрецій.

На сьогоднішній день не існує завершеного повного і єдиного списку елементарних ґрунтових процесів. Із погляду ґрунтової зоології можна згідно з оновленою класифікацією елементарних ґрунтових процесів (за Б. Г. Розановим (1988) виокремити ще одну їх групу – **деструкційні процеси**, які призводять до руйнування і знищення ґрунту як природного тіла. До таких належать поверхнєве руйнування ґрунтів силами води й вітру (ерозія і дефляція), стягнення і поховання.

Ерозія – механічне руйнування верхніх шарів ґрунту під дією поверхнєвого стоку атмосферних опадів.

Дефляція – механічне руйнування поверхні ґрунту під дією вітру (вітрова ерозія).

Стягнення – антропогенний процес знімання ґрунту з верхніх частин схилів і поступового переміщення (стягування) його в нижні в ході машинної обробки ґрунту вздовж схилу.

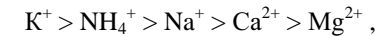
Поховання – засипання ґрунту будь-яким принесеним зі сторони матеріалом так, що в ньому припиняється ґрунтоутворювальний процес. Похований ґрунт стає при цьому реліктом, а нове ґрунтоутворення починається з поверхні наносу.

Таким чином, ґрунт – це динамічна система, що піддається внутрішнім змінам і зовнішнім впливам. Сукупність реакцій, які відбуваються в ній у відповідь на зовнішні впливи і внутрішні зміни, становлять її функціональну здатність. Під зовнішніми впливами розуміють взаємопов'язані фактори ґрунтоутворення: клімат, рельєф, гірські породи, живу речовину – рослини, тварини, мікроорганізми. Внутрішні зміни системи обумовлені сукупним перебігом різних процесів – геохімічних, хімічних, біохімічних, біогеохімічних, біологічних. В елементарних ґрунтових процесах вони можуть поєднуватися. Наприклад, елементарний ґрунтовий процес гумусонакопичення об'єднує власне хімічні, біохімічні та біологічні (мікробіологічні, первинна деструкція листяного опаду тваринами) процеси; вилугування – геохімічні, хімічні процеси та міграцію речовин; соленакопичення – хімічні процеси і міграцію.

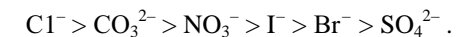
Дія будь-якого елементарного ґрунтового процесу в місці його максимального прояву супроводжується формуванням відповідного горизонту ґрунту. Наприклад, процес торфоутворення в ґрунтах, де він відбувається найбільш інтенсивно, обумовлює появу потужного шару торфу. Процес оглеєння формує глейовий горизонт, осолодіння – осолоділий, осолонцювання – солонцевий тощо. Кожен із цих горизонтів є настільки своєрідним середовищем існування, що це може сприяти відбору специфічних видів ґрунтових тварин, розвиток яких, хоча б на одній онтогенетичній стадії, проходить у цьому горизонті.

Оскільки хімізм засолення різних ґрунтів і їх специфічних горизонтів істотно відрізняється, то кожен з них являє собою оригінальне хімічне середовище для існування тварин, які взаємодіють із ним.

Відомо, що покриви комах проникні для ґрунтових розчинів. Так, Н. Овчинникова (1960) довела, що під час утримування личинок коваліків з ізольованими ротовим і анальним отворами в 0,1 %-му розчині солі Na_2HPO_4 у тіло личинок *Selatosomus latus* за 6 год проникло $0,386 \cdot 10^{-3}$ мг цієї солі, а в тіло *Agriotes sputator* – $0,158 \cdot 10^{-2}$ мг солі на 10 мг живої ваги. Відомо й те, що різні йони мають неоднакову здатність просочуватись скрізь покриви комах. Катіони за порядком зменшення здатності проникати крізь покриви личинок утворюють такий ряд (Гіляров, 1949):



аніони – такий:



Різні горизонти ґрунтів як середовище існування виділяють і за іншими екологічними факторами. Так, торф'яний горизонт забезпечує ґрунтових тварин достатком харчового матеріалу, а також високу гігроскопічність субстрату, кислу реакцію середовища, невисокі температури, частий анаеробіоз тощо.

Осолоділий горизонт являє собою майже чистий мінеральний субстрат, для якого природні різкі амплітуди зміни всіх абіотичних факторів. Цей горизонт збіднений органікою, має цілком своєрідні фізичні властивості.

Солонцевий горизонт, насичений мулистими частками, являє собою контрасне середовище існування: або дуже в'язке й щільне, перенасичене вологою, або дуже сухе, багате тріщинами, у які засипається органічний матеріал різного ступеня гуміфікації, у профілі спостерігаються гумусові затьоки.

Не менш своєрідними середовищами існування є лісова підстилка та гумусові горизонти лучних і степових ґрунтів.

Водночас не в усіх ґрунтах той або інший елементарний ґрунтовий процес виражений настільки інтенсивно, щоб обумовлювати утворення специфічного горизонту. У багатьох ґрунтах дія того або іншого елементарного ґрунтового процесу викликає лише появу в різних горизонтах ґрунту деяких морфологічних або режимних особливостей.

1.2. ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ ҐРУНТІВ

Глобальні біосферні функції ґрунту

Людство тільки відносно недавно усвідомило, що в природі крім рослинно-тваринного світу, гірських порід, атмосфери й гідросфери є ще одне природне утворення – ґрунт. Уперше про це вказав наприкінці XIX ст. В. В. Докучаєв – засновник генетичного ґрунтознавства. Він науково довів, що ґрунт – це *самостійне природно-історичне тіло*.

Екологічні функції ґрунту перестають існувати із руйнуванням самого ґрунту, його структурної організації, що можна спостерігати на прикладі таких явищ, як спустелення, слітизація. Відновлення ґрунтів у таких випадках – дуже трудомісткий або іноді майже неможливий процес.

Глобальні функції ґрунту багатогранні, їх декілька. Охарактеризуємо кожну з них. Перша й головна – це **забезпечення існування життя на Землі**. Саме з ґрунту рослини, а через них і тварини, і люди одержують елементи мінерального живлення й воду для створення своєї біомаси. У ґрунті укорінюються наземні рослини, мешкає величезна кількість тварин, мікроорганізмів. Зазначимо, що ґрунт – це результат життя й водночас умова його наявності. (Існує навіть теорія походження життя з глинистих мінералів.)

Друга важлива глобальна функція ґрунту – це **забезпечення постійної взаємодії великого геологічного й малого біологічного кругообігів (циклів) речовин на земній поверхні**. Потрапляючи на поверхню землі (у процесі формування земної кори, вулканізму, виливів у розламах), первинні гірські породи вивітрюються. У верхній частині кори вивітрювання утворюється ґрунт, що акумулює елементи живлення організмів. Ці елементи захоплюють із ґрунту рослини й через ряд проміжних трофічних циклів (рослини – тварини – мікроорганізми) вони знову повертаються в ґрунт (малий біологічний кругообіг речовин). Із ґрунту елементи частково виносяться атмосферними опадами у гідрографічну мережу, зони акумуляції та Світовий океан, де дають початок новим осадовим гірським породам, що в геологічній історії Землі можуть або вийти знову на поверхню, або спочатку піддатися глибинному метаморфізму (великий геологічний кругообіг речовин). Ґрунт є сполучною ланкою і регулятором взаємодії цих двох циклів речовин на земній поверхні.

Третя глобальна функція ґрунту – **регулювання хімічного складу атмосфери й гідросфери**. Ґрунтове “дихання” разом із фотосинтезом і диханням живих організмів має надзвичайне значення у створенні й підтримці складу приземного шару атмосферного повітря, а відтак і атмосфери в цілому. У геологічній історії Землі, ймовірно, саме ґрунту належить провідна роль у формуванні сучасної атмосфери. Від ґрунтового покриву залежить склад тих речовин, що надходять у гідросферу на континентальній гілці глобального кругообігу води.

Четверта глобальна функція ґрунту – **регулювання біосферних процесів, зокрема щільності життя на Землі, шляхом динамічного відтворення ґрунтової родючості**. Розподіл живих організмів на суходолі Землі і їх щільність знач-

ною мірою пов’язані з географічною неоднорідністю ґрунту, його родючістю, а також із кліматичними факторами.

Нарешті, п’ята глобальна функція ґрунту – це **акумуляція активної органічної речовини і пов’язаної з нею хімічної енергії на земній поверхні**. Ґрунт – це постачальник і накопичувач органічних кислот специфічної і неспецифічної природи, які виникають у процесі гумусоутворення. На думку В. В. Пономарьової, власне хімічний бік ґрунтоутворення є єдиним для всіх умов земної поверхні процесом взаємодії кислот органічного походження (від простої вугільної до складних гумусових фульво- та гумінових кислот) з основами літосфери.

Основні екологічні функції ґрунту

За певний час розвитку ґрунтознавства як науки було з’ясовано, що на різних рівнях організації ґрунту в ньому постійно відбуваються складні процеси – біохімічні, біогеохімічні, геохімічні, біологічні. Усі вони проходять одночасно, тільки в різних екологічних умовах і проявляються у різних поєднаннях і кількісних співвідношеннях. Ґрунт – це система із власними зв’язками, яка виконує певні функції в екосистемах (рис. 1.2). Такий кібернетичний підхід до розгляду ґрунтів сформувався нещодавно. Фундаментальні розробки науковців, проведені за останні 20 років, дозволили з’ясувати структурно-функціональну роль ґрунтів у біосфері. Це розширило теоретичну базу переліку ресурсних характеристик ґрунту новою групою – функціональною.

1. Життєвий простір. У процесі еволюції організми поступово освоїли практично всю поверхневу оболонку Землі. Так виникла ґрунтова сфера Землі, де живе величезна кількість видів організмів різних систематичних груп.

Мікроорганізми. Ґрунт є середовищем існування мікроорганізмів. Найбільш численні серед них – бактерії, актиноміцети, гриби, меншою мірою представлені водорості.

Істотною особливістю мікробного населення ґрунтів є його виразна внутрішньопрофільна диференціація в усіх напрямках і характерний для кожного ґрунтового типу мікробний пейзаж (за Мішустиним). Найбільша кількість мікроорганізмів у більшості випадків мешкає у верхніх гумусованих та добре прогрітих горизонтах. Зі збільшенням глибини різко зменшується загальна чисельність мікроорганізмів. Але в деяких мікророзонах ґрунту, пов’язаних головним чином з кореневими ходами, кількість мікроорганізмів може бути високою й у нижніх горизонтах.

Рослини. Ґрунт являє собою середовище існування переважної частини видів рослин – ґрунтових водоростей і мохів, плаунів, хвощів, папоротників, голонасінних та квіткових (покритонасінних). У ґрунті проходить ранній цикл (а іноді майже весь) їх розвитку (крім покритонасінних), а в дорослому віці з ґрунтом безпосередньо взаємодіють підземні органи.

Будова й характер корневих систем дерев, чагарників, напівчагарників і трав, а також ризоїдів нижчих рослин суттєво відрізняються. Так, коренева система дерев утворює розгалужену в різних напрямках мережу, що охоплює великий

поверхневий об'єм ґрунту, формуючи опорний каркас та поживний механізм дерева. Опорні корені дуже великі, нечисленні, а живильні – дрібні, рясні. В одних дерев переважає горизонтальний ріст коренів (ялина, тополя), в інших – вертикальний (сосна).

Кореневі системи трав'янистих рослин також різні за своєю морфологічною будовою: щільнокущові дерновинні злаки, пухкокущові злаки, рослини з пухкою і глибокою кореневою системою (бобові), цибулеві рослини, а також ті, що утворюють коренеплоди й бульби. Уся головна маса коренів цих рослин зосереджена у верхніх ґрунтових шарах. Лише в посушливих напівпустельних степах та пустелях відомі випадки проникнення коренів (полін, люцерна, верблюжа колючка) на глибину понад 10 м, на якій вони можуть поповнити запаси води.

У ґрунтах іноді наявні перешкоди для поширення коренів углиб у вигляді непроникних горизонтів. Це можуть бути дуже щільні горизонти (штучного або природного походження), або горизонти, токсичні за хімічним складом. У таких випадках спостерігають вигини коренів у боки, їх поворот уверх, другий максимум кореневої системи.

У лісах може накопичуватися підстилка, яка є життєвим простором для деяких представників ґрунтової фауни.

Тварини. З 22 типів тварин, виділених зоологами, 10 типів мають представників, які живуть у ґрунті. Із безхребетних у ґрунті мешкають найпростіші, черви (плоскі, круглі, кільчасті), немертини, молюски, артроподи, тихходки, первиннотрахеїні, членистоногі. Хребетні ґрунтові тварини представлені амфібіями, рептиліями, ссавцями.

За рахунок складної будови ґрунту являє собою середовище для організмів різних розмірів. За Башельє виокремлюють такі групи ґрунтових тварин:

мікрофауна – розмір тіла менше 0,2 мм – головним чином земляні черв'яки, нематоди, ризоподії, ехінококи, які існують у вологому середовищі ґрунтових мікропор усередині агрегатів. Місце мешкання представників цієї фауни відповідає агрегатному структурному рівню організації ґрунту;

мезофауна – розмір тіла від 0,2 до 4,0 мм – мікроартроподи, дрібні комахи, деякі міріаподи та черв'яки, що існують у внутрішньоагрегатних і міжагрегатних достатньо вологих порах. Місце життєдіяльності представників мезофауни також відповідає агрегатному структурному рівню організації ґрунту. Але тут необхідно зазначити, що внутрішня частина агрегатів суттєво відрізняється за складом і фізико-хімічними властивостями від їх поверхні, часто вкритої особливими плівками;

макрофауна – розмір тіла від 4,0 до 80 мм – земляні черв'яки, молюски, міріаподи, комахи (мурахи, терміти і т. д.). Ці тварини освоюють цілі горизонти й ґрунтові профілі;

мегафауна – розмір тіла тварин понад 80 мм – великі комахи, краби, скорпіони, змії, черепахи, гризуни, лисиці, борсуки та інші тварини, які риють у ґрунті ходи й нори. Існування представників мегафауни відповідає горизонтному й профільному рівням організації ґрунту.

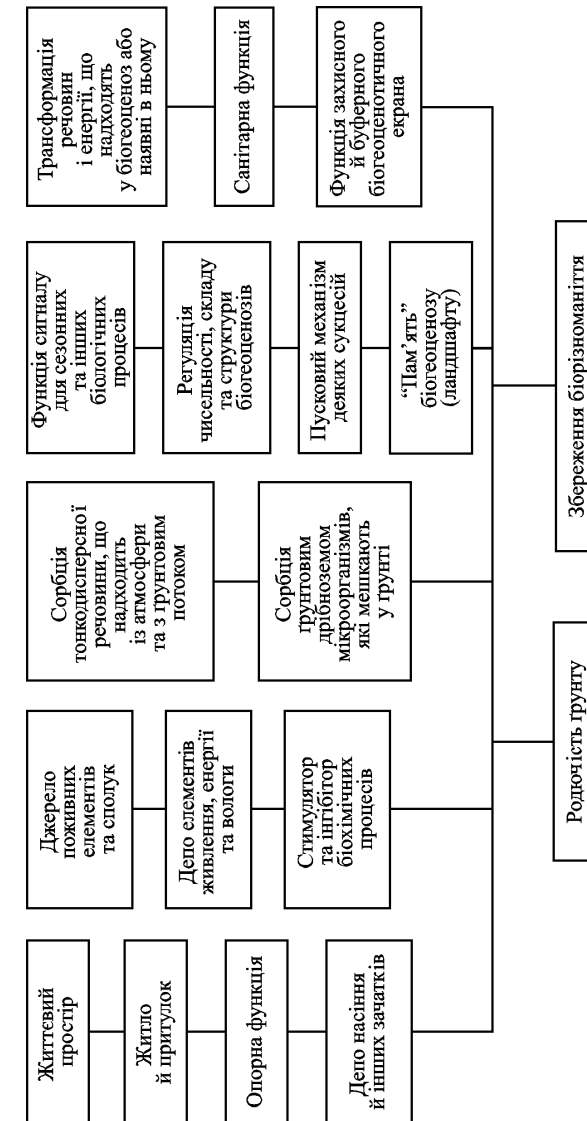


Рис. 1.2.1. Основні екологічні функції ґрунту (за Добровольським та Нікітіним з доповненнями)

2. Житло й притулок. Сутність цієї функції полягає в тому, що ґрунт запобігає переохолодженню й перегріву багатьох тварин, захищає їх від хижаків, які мешкають на поверхні землі. Це пов'язано насамперед із тим, що температура й вологість повітря в ґрунті значно менше піддаються різким коливанням, ніж назовні. Істотного значення набуває ця особливість ґрунту для існування живого в екстремальних умовах – у тундрі, пустелі, а також інших ландшафтах у періоди різних змін погоди.

Функція житла й притулку яскраво проявляється стосовно тварин, які можуть жити у декількох середовищах, одне з яких – ґрунт (полівка звичайна, жовтий і малий ховрашки, хом'як, бабак, бурундук тощо).

3. Опорна функція. Завдяки опорній функції рослини зберігають вертикальне положення і протидіють силі тяжіння. Ця функція стосується також тварин, які мешкають як у ґрунті, так і на його поверхні. У більшості випадків розселення ґрунтових тварин на конкретних ділянках ландшафту пов'язане передусім із механічними особливостями ґрунту. Так, ссавці-ґрунторії потребують для риття нір щільних ґрунтів, що не спливаються в процесі риття.

Еволюційно вплив субстрату відображається на будові кінцівок тварин. У хребетних, які мешкають переважно на твердих субстратах, має місце зменшення площі опори (редукція кількості пальців, зменшення їх довжини та площі). У тварин, які живуть на м'якому та в'язкому (болотному) ґрунті, пальці подовжені, розширені ратиці. Тварини снігових місцевостей мають пристосування, які полегшують вагу тіла на одиницю опірної поверхні.

4. Функція депо насіння й інших зачатків. У ґрунтах майже завжди зберігається у вигляді запасу насіння цілого ряду видів рослин, а також цисти, спори та яйця безхребетних. Накопичене насіння є не тільки резервом для відновлення характерної структури рослинного покриву на конкретній ділянці, а й джерелом поживних речовин для комах, птахів і безхребетних, оскільки за поживністю плоди та насіння посідають перше місце серед усіх видів рослинної їжі.

5. Ґрунт як джерело поживних елементів та сполук. Поживні елементи в ґрунті знаходяться у розчиненому або обмінному стані у вигляді іонів. Їх поглинають рослини, які є вихідною ланкою у трофічних ланцюгах. Більшість вищих рослин одночасно живе у двох середовищах – ґрунті й нижньому шарі атмосфери. Атмосфера для рослин є головним постачальником кисню й діоксиду карбону. Основним джерелом інших елементів і води є ґрунт. Із ґрунту крім води рослини одержують різні мінеральні речовини: нітроген (амонійний і нітратний іони), фосфор (моно- й дифосфати), калій, кальцій, магній, сульфур, ферум, манган, купрум, молібден, бор, цинк тощо.

Відомо, що такі хімічні елементи, як нітроген, фосфор і калій відіграють виняткову роль у розвитку органічного світу на Землі. Так, академік В. Л. Омелянський ще в 1923 р. зазначив, що нітроген більш дорогіший із загальнобіологічного погляду, ніж найрідкісніші з благородних металів. Фактично знаходячись в атмосфері нітрогену, рослини відчувають потребу в ньому, оскільки використовувати для своїх потреб вони можуть лише нітроген ґрунтових ресурсів,

запаси якого значною мірою впливають на продуктивність рослинних угруповань і біогеоценозів у цілому.

У результаті тривалої еволюції в природних екосистемах відбулося взаємне пристосування ґрунтів і фітоценозів з метою оптимізації міграції речовини. Тому рослини за вимогливістю до багатства (родючості) ґрунту на поживні речовини умовно поділяють на мегатрофи, мезотрофи, оліготрофи; до певних біогенних елементів, що містяться у ґрунті, – на нітрофіли, кальцієфіли; до реакції середовища – на ацидофільні, нейтрофільні та базифільні рослини.

6. Функція ґрунту як депо елементів живлення, енергії та вологи. Сутністю названої функції є те, що ґрунт має певний резерв поживних компонентів, які використовуються в разі необхідності. Ґрунтове депо являють собою сполуки, законсервовані в аморфних, кристалічних формах і коагульованих гумусових кислотах, рухомі сполуки, а також вода, що міститься в глибоких горизонтах.

Наявність депо забезпечує існування організмів, незважаючи на періодичні перерви в надходженні в ґрунт вологи, рослинного опаду, добрив тощо. У випадку, якщо ґрунтове депо невелике, можуть існувати тільки види, пристосовані до різних перепадів температури та вологості.

7. Ґрунт як стимулятор та інгібітор біохімічних процесів. У ґрунт надходить безліч продуктів метаболізму мікроорганізмів, рослин і тварин: амінокислоти, білки, вітаміни, спирти, органічні кислоти, які стимулюють або інгібують життєдіяльність власне ґрунтових організмів, а також беруть участь в інших біохімічних перетвореннях, наприклад, органічної речовини ґрунту.

Унаслідок акумуляції ґрунтом алопатично активних речовин (токсинів) виникає ґрунтова, під якою розуміють погіршення як фізичних, так і біохімічних показників родючості ґрунту, що спричиняють зниження життєвості й навіть у деяких випадках завершення в ньому біологічного життя. Отже, ґрунт є потужним резервуаром речовин, у тому числі й таких, що здійснюють біологічно активний вплив на рослини й беруть участь в алопатичних ефектах.

Продукти зовнішньої секреції тварин, що попадають на поверхню ґрунту, мають досить різноманітну дію. Вони можуть слугувати орієнтирами під час добування їжі або виконувати роль маркерів, які вказують на зайнятість території. Особливо велике значення ці речовини мають у біокомунікації суспільних комах (мурах). Такі тварини можуть виділяти речовини, що викликають реакцію тривоги, агресії тощо.

8. Сорбція тонкодисперсної речовини, що надходить із атмосфери та з ґрунтовим потоком. Основним механізмом даної функції ґрунту є адсорбція колоїдами ґрунту газів, рідин (особливо води), молекул та йонів, що надходять у ґрунт різними шляхами. Має місце також механічне затримання в порах частин суспензій та емульсій і хімічне поглинання їх ґрунтом із утворенням нерозчинних сполук. Виділяють також біологічну поглинальну здатність ґрунтів – утримання елементів мікроорганізмами, кореневими системами, а також тваринами, які мешкають у ґрунті. Але це не власне ґрунтова функція.

Найчастіше досліджують адсорбцію, обумовлену активною поверхнею дрібнозему. Такий тип адсорбції має місце в разі збільшення частки глинистих

мінералів у ґрунті. Сорбційна функція суттєво впливає на надходження до рослин елементів живлення. Цей вплив характеризується як позитивними, так і негативними ефектами. До числа позитивних належить утримання ґрунтом елементів живлення від вимивання атмосферними опадами. Негативним ефектом є зв'язування елементів у форми, непридатні для споживання рослинами. Також ґрунти здатні переводити значну частину води у важкодоступний стан, утворюючи так звані мертвий запас вологи. Особливо великими такі запаси вологи є в ґрунтах із важким механічним складом. Сорбційна функція ґрунту може призводити до небажаних явищ у випадках забруднення ландшафту отруйними речовинами. Шкідливі елементи та сполуки здатні утримуватись у ґрунті багато років, що є причиною включення їх у трофічні ланцюги.

У зв'язку з великим значенням поглинальної здатності ґрунту як компонента біогеоценозу важливим є виявлення оптимального складу ґрунтового поглинального комплексу. Для більшості рослин фізіологічно оптимальним співвідношенням поглинутих катіонів є таке: кількість обмінного кальцію 60–70 % від ємності поглинання; обмінного магнію 10–15 %; калію 3–5 %. Збільшення в поглинальному комплексі частки таких катіонів, як гідроген, натрій, магній може призводити до пригнічення морфологічного стану більшості рослин, сукцесійної зміни природних рослинних асоціацій на їх похідні.

Рослини й тварини часто потерпають від того, що в ґрунт надходять солі важких металів, токсичність яких є дуже високою. У ґрунтах важкого механічного складу важкі метали утримуються впродовж багатьох років.

9. Сорбція ґрунтовим дрібноземом мікроорганізмів, які мешкають у ґрунті. Ця функція має велике значення, оскільки за рахунок неї мікроорганізми захищені від виносу за межі ґрунтового профілю. Сорбційна здатність ґрунтів щодо мікроорганізмів обумовлена насамперед гранулометричним складом ґрунтів, а також їх генетичними особливостями. Так, помічено збільшення сорбції бактерій ґрунтом зі збільшенням кількості глинистих часток. Зазвичай найбільше мікроорганізмів сорбують ґрунти з важким механічним складом, високою ємністю поглинання, великою кількістю гумусу. Чорноземи, наприклад, сорбують більше бактерій, ніж дерново-підзолисті та сірі ґрунти.

Відзначена чітка залежність сорбції від величини *pH* та від того, якими катіонами насичений ґрунт. Особливо сильну сорбційну здатність мають ґрунти, насичені три- та двовалентними катіонами. Зразки ґрунту, насичені одновалентними катіонами, майже не сорбують мікроорганізмів.

10. Функція сигналу для сезонних та інших біологічних процесів. Дану функцію контролюють у першу чергу параметри ґрунту, які змінюються періодично, – його тепловий, водний, поживний та сольовий режими.

Температура ґрунту є фактором, особливо важливим для організмів, які мешкають на невеликих глибинах. Вона слугує не тільки сигналом початку або завершення сезонних циклів життєдіяльності організмів, а й визначає швидкість ряду процесів. Зі збільшенням температури ґрунту такий фізіологічний процес рослин, як транспірація підсилюється, зі зменшенням – пригнічується.

Динаміка водного режиму визначає зміну фаз розвитку багатьох живих організмів, особливо в районах із недостатнім зволоженням. Прикладом є пришивдшений розвиток ефемерів та ефемероїдів, обумовлений коротким періодом насиченості ґрунту вологою. Розвиток яєць комах у ґрунті також залежить від вологи. Так, у саранових він починається тільки тоді, коли кількість вологи в ґрунті стає більше мертвого запасу.

Динаміка надходження елементів живлення в ґрунт істотно впливає на кількість мікроорганізмів у ньому. Установлено, що восени має місце спалах сезонної кількості мікробів, що пояснюють надходженням у ґрунт органіки у вигляді відмерлих частин рослин.

11. Регуляція чисельності організмів, складу та структури біогеоценозів.

Однією з важливих форм прояву цієї функції є вплив ґрунтових факторів на утворення певної консортивної структури біогеоценозів. У консортивних зв'язках різних організмів роль ядра належить вищим рослинам. Просторовий розподіл цих рослин, а особливо їх корневих систем значною мірою залежить від динаміки властивостей та режимів ґрунту.

У межах будь-якого типу біогеоценозу з корінням кожного виду рослин пов'язані специфічні комплекси організмів, які мешкають у ґрунті: гриби, ризосферні бактерії, фітофаги і т. д. У результаті в багатьох випадках має місце неоднорідність поширення тварин, які мешкають у ґрунті, причому не тільки дрібних, а й великих. Установлено також зв'язок розселення ґрунтових безхребетних із окремими екологічними властивостями ґрунтів. Так, диференціація хілопод, павуків, дощових черв'яків залежить від маси підстилки; дротяників, молосків – від *pH* ґрунту тощо.

12. Пусковий механізм деяких сукцесій. Дана функція проявляється в трансформації біогеоценозів у результаті зміни окремих екологічних факторів. У більшості випадків навіть за умов надмірної діяльності тварин фітоценози не змінюються, а мають місце лише флуктуаційні коливання або внутрішньоценозна зміна мікрогруповань (динаміка мозаїчності). Сукцесії виникають у разі загибелі едифікатора фітоценозу, появи в біоценозі нового для місцевої фауни виду тварин чи навпаки, зникнення зі складу біоценозу фітофага, який здійснював значний вплив на рослинність.

Зоогенні зміни фітоценозів відбуваються у відповідь на вплив тварин, які входять до складу певного біоценозу або зовсім не пов'язаних із ним. У першому випадку зміна типу фітоценозу (асоціації) може бути обумовлена, наприклад, прилітом птахів навесні, ґрунторіями, комахами, гризунами, випасом тварин (дигресія). Прикладами другого випадку можуть слугувати наліт сарани, навали термітів і гризунів, що призводять іноді до повного знищення сільськогосподарських посівів, рослинності луків, степів і перелогів. Сьогодні можливе локальне регулювання подібних сукцесій за допомогою проведення хімічних і біологічних заходів, зокрема, використання пестицидів.

Часто тварини, які потребують для існування гумусової речовини ґрунту, легко переходять на споживання органічних залишків (стовбурів дерев, що гниють, екскрементів, трупів тварин). При цьому зміни, що відбуваються в названих

субстратах у процесі діяльності одних видів тварин, роблять можливим поселення з часом інших, які забезпечують, у свою чергу, появу нових видів. Така закономірна зміна (сукцесія) складу споживачів може відбуватися з різною швидкістю залежно від екологічних умов. Кількість видів, які беруть участь у ході сукцесії, також може бути різною. Так, сукцесія, викликана загибеллю великого дерева в лісі, триває декілька років і в ній задіяні десятки видів тварин і рослин, а розкладання екскрементів, залишених худобою, триває декілька діб і в ньому беруть участь трохи більше десяти видів тварин.

Діяльність ґрунтових фітофагів може бути фактором, що визначає сукцесії рослинного покриву. У кліматичних умовах степу в результаті діяльності кореневих шкідників деякі види рослин гинуть, а їх місця займають інші види, толерантні до цих шкідників. Як наслідок відбувається постійна зміна дрібних фітоценотичних комплексів у межах окремого біогеоценозу, що забезпечує його загальну стабільність. Крім того, діяльність окремих фітофагів може викликати сукцесії трав'янистої рослинності в цілому.

13. “Пам’ять” біогеоценозу (ландшафту). Із усіх компонентів ландшафту (біогеоценозів, екосистем) ґрунт має найбільш виражену здатність відображати дію факторів середовища і зберігати у генетичному профілі значну кількість інформації. Це пояснюють тим, що для формування зрілого ґрунтового профілю потрібні сотні або й тисячі років. Характер цього явища описаний В. О. Таргульяном та І. А. Соколовим (1976) такими поняттями: “ґрунт-пам’ять” (“ґрунт-відбиття”); “ґрунт-момент”; “ґрунт-життя”.

Ґрунт-пам’ять – це консервативні властивості ґрунту, які сформувалися на минулих етапах ґрунтоутворення. У сучасних ґрунтах іноді зберігаються ознаки минулих стадій розвитку – релікти та властивості, які виникли на колишніх етапах еволюції за такого поєднання факторів ґрунтоутворення, що нині не існують. Наприклад, сольові акумуляції в аридних ґрунтах за відсутності сучасної циркуляції розчинів і наявності глибокого стояння ґрунтових вод.

Ґрунт-момент – це сталі властивості ґрунту, які сформувалися на сучасному етапі ґрунтоутворення та ще не відобразилися на ґрунтовому профілі.

Ґрунт-життя – сучасні динамічні ґрунтові ознаки.

В. О. Таргульян та І. А. Соколов (1978) звертали увагу на те, що ґрунт відображає середовище, “записуючи, кодує” в генетичному профілі інформацію про фактори ґрунтоутворення. До того ж ґрунт, відображаючи середовище, перетворюється на продукт, рівноважний із даною комбінацією факторів ґрунтоутворення. Набуття ґрунтом нової інформації часто супроводжується втратою суттєвої старої інформації. Яскравим прикладом цього є деградація чорноземів під впливом їх нераціонального використання, утрата ними значної кількості гумусу.

14. Трансформація речовин і енергії, що надходять у біогеоценоз або наявні в ньому. Сутністю трансформаційної функції є перетворення в результаті ґрунотворного процесу материнської породи й продуктів, що надходять із пилом, опадами, підґрунтовими водами, залишками рослинності та діяльності тварин. Унаслідок цього ґрунтовий субстрат набуває більш сприятливих для біоти властивостей. Так, у верхніх горизонтах, де зосереджена переважна більшість корене-

вої системи рослин та видів ґрунтової біоти, має місце не тільки накопичення в розчинній та обмінних формах великої кількості сполук, але й певна зміна співвідношення між багатьма елементами порівняно з тими, що були в материнській породі. У зв’язку з цим верхній шар ґрунтів містить більше карбону органічного походження, нітрогену, фосфору, калію порівняно з материнською породою.

Важливим результатом трансформації рослинних залишків є вивільнення енергії, акумульованої рослинами під час фотосинтезу. За рахунок цього процесу ґрунти існують як нерівноважні, динамічні системи, багаті на вільну енергію. Зазвичай у сприятливих умовах потужність органогенного горизонту ґрунтів збільшується, змінюються його фізичні та фізико-хімічні властивості.

15. Санітарна функція ґрунтів. Санітарний аспект пов’язаний із участю ґрунтових організмів у деструкції органічних залишків, що надходять на поверхню ґрунту. Ґрунтові організми (головним чином мікроскопічні) не тільки перетворюють на доступну для живлення рослин форму елементи та енергію опаду, але й зберігають ландшафти від самозабруднення та загибелі.

Довгий час вважали, що деструкцію органічних залишків здійснюють тільки мікроорганізми. Пізніше була встановлена важлива роль у цьому процесі ґрунтових безхребетних, які не тільки беруть участь у розкладі опаду на поверхні ґрунту, але й переміщують органічні залишки вглиб, збільшуючи швидкість їх активної зміни. За умов відсутності ґрунтових тварин відбувається прискорене накопичення на поверхні ґрунту мертвого опаду, створюються анаеробні умови. Помічено, що накопичення потужних шарів торф’яних відкладень значною мірою пов’язане з відсутністю сапрофагів. У деяких випадках рекультивациі чи освоєння земель доцільною може бути інтродукція ґрунтових сапрофагів, які пришвидшують звільнення поверхні ґрунту від рослинного опаду, що повільно розкладається.

Безхребетні беруть активну участь у деструкції різноманітних рослинних і тваринних залишків. Значна роль у деструкції опаду в лісових біогеоценозах належить комахам. У тропіках терміти переробляють відмерлу деревину, на пасовищах жуки-гноювики поїдають екскременти худоби, личинки мух – трупи тварин.

Таким чином, у процесі звільнення ґрунту від органічних залишків задіяні не тільки мікроби, але й ґрунтові безхребетні. Разом вони являють собою складний комплекс, що очищує ґрунт. Крім того, ґрунтові тварини, особливо дощові черв’яки, сприяють розмноженню мікроорганізмів. Чисельність мікробів у їх екскрементах в 3–13 разів вища, ніж у ґрунті.

16. Функція захисного й буферного біогеоценотичного екрана. Зональні типи біогеоценозів сформувались у ході довгої еволюції, для них характерна висока стійкість, обумовлена наявністю буферних і регуляторних механізмів зворотного зв’язку. У цьому процесі значна роль належить ґрунту, що врівноважує різкі коливання температури та вологості. Так, за рахунок здатності ґрунту вбирати й акумулювати атмосферну вологу вода на його поверхні в періоди сніготанення та злив не застоюється. Також менш відчутна надмірна сухість приземних шарів у разі посухи завдяки випаровуванню з поверхні ґрунту. Таким чином, ґрунт може протистояти водній ерозії та дефляції.

Проявом буферної функції ґрунтів є факт відновлення порушених біоценозів за допомогою запасу ґрунтового насіння та формуючого впливу структури ґрунтового покриву. Це сприяє відтворенню первісної неоднорідності фітоценозів.

17. Родючість ґрунту. Родючість є інтегральною функцією ґрунту, яку визначає взаємодія всіх властивостей та функцій ґрунту. Родючість – це здатність ґрунту забезпечувати рослини елементами живлення, водою, їх кореневі системи – достатньою кількістю повітря, тепла і сприятливим фізико-хімічним середовищем для нормального росту й розвитку. Саме ця особливість відрізняє будь-який ґрунт від гірської породи.

Найважливішими показниками родючості ґрунтів є такі характеристики:

фізичні:

- механічний склад;
- щільність;
- теплові, водні та повітряні властивості та режими;
- фізико-механічні властивості;

хімічні:

- гумусовий стан;
- мінералогічний і валовий хімічний склад;
- рухомі форми макро- і мікроелементів;
- наявність токсичних речовин;

фізико-хімічні:

- окисно-відновний потенціал;
- реакція середовища;
- ємність поглинання;
- сума й склад обмінних форм хімічних сполук;
- ступінь насиченості ґрунту основами;

біологічні:

- кількість мікроорганізмів;
- нітрифікаційна та азотфіксувальна здатність;
- інтенсивність розкладу целюлози;
- “дихання” ґрунту;
- ферментативна активність;
- фітосанітарний стан ґрунту.

18. Збереження біорізноманіття. Надзвичайне різноманіття умов на всіх рівнях організації ґрунтового покриву обумовлює формування в ґрунті великої кількості місць існування, що визначає відповідне різноманіття організмів у ньому. Саме тому важливою є роль ґрунту у становленні та збереженні біологічного різноманіття. Добре відомо, що ґрунтовий покрив земної кулі незрівнянно багатший, ніж океан не тільки за загальною величиною біомаси організмів, які в ньому живуть, але й за видовим різноманіттям. Число видів суходільних тварин становить 93 % від загального, водних – 7 %. Так само й для рослин – 92 % суходільних і лише 8 % водних.

Дослідження науковців показали, що екологічно сприятливі властивості “справжніх” ґрунтів, тобто дрібноземних, збагачених органічною речовиною, обумовили прискорені темпи еволюції життя на поверхні суші, які відбулися наприкінці палеозою починаючи ще з кам’яновугільного періоду (початок – 360 млн років тому), коли з’явилися такі наземні хребетні, як плазуни (рептилії), а також поширилися комахи. Навряд чи можна сумніватися, що подальша еволюція суходільного життя в мезозої (248–67 млн років тому) ще тісніше була пов’язана з розвитком ґрунтового покриву. Б. Р. Стриганова (1996), розвиваючи ідеї М. С. Гілярова щодо шляхів адаптацій комах та інших безхребетних до ґрунтових умов, установила, що освоєння ґрунту як середовища існування забезпечило суходільним безхребетним прогресивну еволюцію, яку супроводжували активна дивергенція форм і розвиток різних аломорфних пристосувань до живлення, локомоції та орієнтації в ґрунті. Тобто історично відбувалась сумісна еволюція (коеволуція) ґрунтів і тварин, які мешкають у них.

Ґрунтознавцями та біологами накопичений значний матеріал, який доводить тісноту зв’язків між різноманіттям біогеоценозів, окремих видів рослин, тварин і мікроорганізмів. Більше того, тіснота цих зв’язків лежить в основі головного теоретичного принципу докучаєвського генетичного ґрунтознавства – ґрунт є результатом взаємодії екологічних факторів, серед яких провідна роль належить біоті. Отже, різноманіття ґрунтів і організмів на Землі взаємопов’язане. На основі цього принципу одержали визнання такі суміжні дисципліни, як індикаційна геоботаніка, зоологічна діагностика ґрунтів, індикаційна зоологія.

Отже, ґрунт – найважливіший і невід’ємний компонент біосфери. Саме в ньому відбувається взаємодія живої і неживої природи, тому він належить до класу біокосних тіл. Хімічні елементи мінеральної природи, звільняючись із кристалічних ґраток мінералів, стають частиною живої речовини, беруть участь у її життєвих процесах. І навпаки, жива речовина, відмираючи, мінералізується, переходить у мінеральну форму. Одночасно в ґрунтах утворюється унікальна речовина – гумус. Власне це й перетворює гірську породу на ґрунт.

Функціонування ґрунту – його складна властивість. Вона проявляється в ґрунтоутворенні, яке передбачає перебіг елементарних ґрунтових процесів. Щодо інших компонентів біосфери ґрунт виконує незамінні функції, обумовлюючи стабільність існування і розвиток наземних організмів.

1.3. ҐРУНТ ЯК СЕРЕДОВИЩЕ ІСНУВАННЯ БЕЗХРЕБЕТНИХ ТВАРИН

Головними ознаками ґрунту як середовища існування є буферність (здатність протистояти різким змінам основних параметрів) і значна різноманітність ґрунтових умов у межах профілю: кожен горизонт – особлива екологічна ніша. За рахунок цього ґрунтова тварина, з одного боку, захищена від екстремальних впливів факторів зовнішнього середовища, а з іншого, – мають можливість вибирати потрібні їм умови в межах профілю, що дозволяє уникати далеких і тривалих міграцій.

Для ґрунтових безхребетних тварин характерні як висока чисельність (від одного до десятків тисяч екземплярів на квадратний метр середовища існування), так і таксономічне різноманіття. Практично всі безхребетні за час свого життя так чи інакше пов'язані з ґрунтом як середовищем існування, живлення, розмноження.

Як середовище існування безхребетних тварин ґрунт є складною трифазною полідисперсною системою. Проміжки між частками ґрунту та його агрегатами заповнені повітрям і водою з розчиненими в ній солями, вміст яких може змінюватися.

Співвідношення об'єму твердих часток і порожнин між ними залежить від гранулометричного (механічного) складу ґрунту. Чим дрібніші частки ґрунту, тим менші проміжки між ними. Часто цей факт обумовлює різноманітність ґрунтової біоти, появу морфологічних адаптацій до життя в ґрунті.

*Співвідношення об'єму води й повітря в ґрунті залежить від його структури й вологості. Вода в ґрунті може знаходитися в різних ступенях зв'язності. Найбільш сильно зв'язана з мінеральними частками ґрунту **гідратна вода**, що не чинить особливого впливу на умови існування ґрунтових тварин. Вона має дві форми: хімічно зв'язану (конституційну) і кристалізаційну (кристалогідратну). Конституційна вода входить у молекулу речовини як гідроксильна група, наприклад $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$. Кристалізаційна вода входить до складу речовини у вигляді цільних водних молекул, наприклад $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Гідратна вода в ґрунті не переміщується, рослинам і тваринам не доступна.*

Гігроскопічна волога в ґрунті має вигляд тонкої плівки навколо твердих часток. Тверді частки ґрунту крім гігроскопічної вологи здатні утримувати крихкозв'язану (плівкову) воду, молекули якої розташовуються зовні молекул гігроскопічної води. Такі плівки води дозволяють існувати одноклітинним тваринам – найпростішим, до яких належать представники кореніжок, джугутиконосців і війчастих. Установлена позитивна кореляція між величиною гігроскопічної вологи в ґрунті, вмістом у ньому гумусу та мулистої фракції (часток діаметром менше 0,001 мм).

Капілярна вода заповнює всі сполучені капіляри, її легко засвоюють рослини, вона впливає на представників великих ґрунтових безхребетних як контактна волога, яку вони можуть споживати разом із кормом, усмоктувати поверхню тіла. Ця форма води існує в порах діаметром менше 8 мм і пересувається в усі боки. Але максимального прояву капілярні явища набувають у порах діаметром від

0,003 до 0,1 мм. У порах понад 8 мм капілярний момент не виражений. Найбільш інтенсивно (на велику відстань) вода по капілярах пересувається в ґрунтах, середніх за механічним складом, типу лесоподібних суглинків. Зазначимо, що капілярний механізм є основним для пересування солей із нижніх горизонтів у верхні.

Гравітаційна (вільна) вода, просочуючись під впливом сили ваги по великих (некапілярних) порах ґрунту, витісняє з них повітря і створює умови, близькі до умов у ґрунті водою. Ця форма води найбільш важлива для існування ґрунтових тварин і на відміну від інших замерзає за температури від (– 4) до (– 1,5) °С. Як нестача, так і надлишок різних форм вологи в ґрунті негативно відбиваються на існуванні ґрунтових тварин. Велика кількість води перешкоджає аерації ґрунту і спричиняє розвиток грибкових захворювань. Її нестача, а особливо води капілярної, унеможливує існування в активному стані багатьох безхребетних.

Залежно від ступеня зволоження й характеру вологи в ґрунті можуть мати місце умови від аридних до близьких режимам дна водойми. Найчастіше вологість повітря у верхніх ґрунтових горизонтах дорівнює 100 %, що дозволяє одноклітинним представникам водних екосистем пристосуватися до існування в ґрунті й вільно мешкати в ньому. При цьому втрати вологи тваринами цієї групи за рахунок випару мінімальні. У той же час до представників ґрунтових безхребетних, таких як дощові черв'яки, личинки дротяників тощо, вода може надходити з ґрунту безпосередньо через їх покриви. Для розвитку яєць хрущів, кубушок саранових ґрунт – єдине джерело вологи.

За ступенем зв'язку з ґрунтом педобіонтів підрозділяють на такі групи:

1. Геобіонти – постійні мешканці ґрунту (дощові черв'яки, багатоніжки, ногохвісткі).

2. Геофіли – тварини, які живуть у ґрунті протягом частини свого життєвого циклу (личинки жуків), а в дорослому стані залишають його (хрущі, дротяники).

3. Геоксени – організми, які знаходяться в ґрунті тільки тимчасово – наприклад, з метою укриття (шкідлива черепашка).

Ці терміни були запропоновані для диференціації комах, але їх можна застосовувати й щодо інших безхребетних.

У тварин – мешканців ґрунтів – розвиваються різні види пристосувань до ґрунтового середовища. Ці пристосування знаходять відображення в зміні морфології, фізіології, поведінки тварин. Так, деяким ґрунтовим мешканцям властиві зміни форми кінцівок, редукція органів зору, зменшення розмірів тіла. Анатомічна адаптація проявляється в будові кутикулярних покривів, органів дихання, виділення. Фізіологічне пристосування виражається в особливостях обміну речовин, водному обміні. Адаптивні стратегії надзвичайно різноманітні у великих ґрунтових безхребетних.

Заселення ґрунту тваринами відбувається по-різному залежно від розмірів їх тіла, типів дихання і живлення. Відповідно до особливостей способу життя та впливу на ґрунт тварин різної величини поділяють на розмірні групи. Для кожної групи застосовують специфічні методи кількісного обліку.

Нанофауна. До представників нанофауни належать найменші з ґрунтових тварин – найпростіші, дрібні нематоди, коловертки. Найпростіші, коловертки –

водні організми. Живучи в ґрунті, вони залишаються мешканцями водного середовища. У ті періоди, коли в ґрунті наявна краплинна гравітаційна вода, вони плавають у ній, як у мікроскопічних водоймах, живлячись мікроорганізмами й детритом, які знаходять під тією ж плівкою води.

Для організмів нанофауни найбільше значення мають такі властивості ґрунту, як динаміка вологості й температури (у разі підвищення температури ґрунту в посушливі періоди року вони нерухомо прикріплені плівками води до поверхні твердих часток), сольовий режим, розміри порожнин у різних ґрунтових горизонтах.

Мікрофауна. До представників цієї розмірної групи належить більшість великих ґрунтових безхребетних – кліщі, ногохвістки, симфіли та інші, яких часто називають *Microarthropoda* (мікроартроподами). Для них ґрунт є сукупністю ходів і порожнин, пересування по яких відрізняється від пересування по поверхні твердого субстрату. Найважливіші умови існування в ґрунті представників мікроартропод – характер, ступінь порізності й вологості середовища існування, його температурний режим.

Мезофауна. Це найбільші за розміром безхребетні тварини, які живуть у ґрунті. Таксономічний склад представників мезофауни великий: дощові черв'яки, мокриці, багатоніжки. Для них ґрунт відіграє роль субстрату (пухкого, щільного чи твердого тощо). Існування в ньому пов'язане з морфологічними змінами тварин. Червоподібна, витягнута форма тіла зручна не тільки для викопування нових ходів у ґрунті (дощові черв'яки), але й для роздавлювання часток ґрунту, розширення проміжків між ними (геофіліди).

Представники даної розмірної групи чинять найбільший механічний вплив на ґрунт, прокладаючи в ньому ходи й так розпушуючи його. При цьому вони постійно контактують з ґрунтовим розчином, реагуючи на його вплив змінами своєї синекологічної структури. Представники мезофауни значно більше залежать від усієї сукупності властивостей ґрунту як єдиного специфічного природного тіла, ніж представники нано- й мезофауни.

Ґрунтові тварини впливають на хімізм ґрунтів, утворення гумусу, структурні властивості, біологічну активність і в цілому на родючість.

Під час проведення зооекологічних ґрунтових досліджень велику увагу приділяють структурно-функціональним характеристикам представників різних таксономічних груп. Екологічні групи ґрунтових тварин розрізняють не тільки за розмірами, від яких залежить безпосередній механічний вплив на ґрунт, але й за типами живлення, які визначають положення організмів у трофічних ланцюгах біотичного угруповання. Серед ґрунтових тварин виділяють такі трофічні групи.

1. Фітофаги – організми, які харчуються тканинами коренів живих рослин, часто завдають шкоди сільському і лісовому господарству. Наприклад, личинка хруща знищує корені рослин, бурякова нематода знижує врожай цукрового буряку. Різновид фітофагів – альгофаги – тварини, які живляться водоростями.

2. Зоофаги – організми, які живляться тваринною їжею, являють собою як хижаків, так і паразитів. Прикладом можуть служити стафілініди, хижі туруни, геофіліди.

3. Некрофаги – безхребетні, які живляться трупами тварин, виконують санитарну функцію в природних екосистемах.

4. Сапрофаги – найбільш численна й важлива за значенням група ґрунтових безхребетних, які живляться мертвими рештками рослин, опадом і відпадом як на поверхні ґрунту (у підстилці), так і в зоні кореневих систем рослин. До цих тварин належать дощові черв'яки, двопарноногі багатоніжки, мокриці, мікроартроподи.

Слід зазначити, що поняття “сапрофаги” не досить чітке. Так, розкладання в ґрунті рослинних решток пов'язане з діяльністю різних груп організмів. Складно розмежувати живлення ґрунтових безхребетних листовим опадом і живлення мікроорганізмами, які обумовлюють і стимулюють його розклад. Найчастіше живуть у рослинних рештках тварини, які можуть харчуватись гіфами грибів. Такий тип живлення називається мікофагією. До мікофагів належать тирогліфодні кліщі, личинки дрозоділід.

Сапрофаги живляться вибірково. Вони перебірливі не тільки щодо ступеня розкладання їжі, але й щодо вихідного органічного матеріалу. Так, серед дощових черв'яків такий представник, як *Eisenia rosea* Sav. харчується продуктами розкладання корінців трав, а *Lumbricus terrestris* L. – опалим листям деревних порід. При цьому опад також споживають не тільки на різних фазах розкладання, але й різних ступенів залежно від деревних порід. Дощовий черв'як *Lumbricus terrestris* живиться опадом берези або дуба, а *Lumbricus rubellus* L. – вільхи або дуба.

Серед власне сапрофагів виділяють *сапроксилофагів* – спеціалізованих споживачів, які розкладають і гуміфікують деревину (личинки *Lucanidae*, *Bibionidae*).

Своєрідною групою сапрофагів є *скатофаги*, які живляться екскрементами інших тварин, головним чином савців (жуки-гнійовики). Водночас слід зазначити, що багато ногохвісток вибірково живляться екскрементами дощових черв'яків, а дощові черв'яки споживають екскрменти енхитреїд. Важливо те, що представники скатофагів живляться рештками, що розкладаються та піддаються ферментативній обробці виділеннями кишечників інших тварин і їх кишкової мікрофлори.

Незважаючи на різноманітність перерахованих вище форм, термін “сапрофагія” найчастіше асоціюється з гуміфікацією.

Комплекс сапрофагів, пов'язаний із процесами гуміфікації, дуже важливими для формування ґрунтового профілю, використовують для діагностики ґрунтів і біологічної характеристики ґрунтових режимів. Сапрофаги не тільки значною мірою впливають на хід розкладу рослинних решток, але й самі залежать від характеру діяльності мікроорганізмів.

Відзначаючи діяльність сапрофагів, також необхідно приділити увагу представникам фітофагів. Трофічні зв'язки фітофагів найбільше вивчені на прикладах комах-шкідників сільськогосподарських і лісових культур. Для них властивий різний ступінь вибіркової щодо видів споживаних рослин або їх частин.

Досить часто коло кормових рослин для представників ґрунтових олігофагів обмежене визначеними систематичними групами рослин (личинки довгоноса *Pseudocleonus cinereus* Schrank. у степовій зоні живляться коренями складноцвітих

Asteraceae). Справжні монофаги, тобто види, які харчуються лише одним видом рослин, серед власне ґрунтових безхребетних невідомі. Найбільш близька до монофагів виноградна філоксера (*Phylloxera vastatrix*), яка живиться в основному листям і кореннями виноградної лози.

Переважає більшість ґрунтових фітофагів – це личинки комах із повним перетворенням, які розвиваються в ґрунті. Вони найчастіше багатодні.

У структурно-функціональній характеристиці комплексів ґрунтових безхребетних значну роль відіграють зоофаги. Специфіка комплексів ґрунтових зоофагів полягає в тому, що їх поширення і зустрічальність значною мірою залежать від усієї сукупності екологічних умов, а не лімітовані наявністю в спектрі живлення окремих рослин, що типово для представників фітофагів. Слід зазначити, що серед зоофагів також є такі, які живляться окремими видами їжі. Так, у числі турунів наявні види роду *Carabus*, які харчуються переважно моллюсками. Моллюсками живляться й личинки світляків (*Lampyridae*). У цілому спектр живлення представників зоофагів досить широкий, тобто ступінь кормової спеціалізації нижчий, ніж у фітофагів.

За спектром живлення функціональні групи представників ґрунтових безхребетних поділяють на фіто-, зоо- і сапрофаги. Але в цьому випадку складно знайти межу, наприклад, між зоофагією та фітофагією (личинки турунів роду *Pterostichus* здатні жити як зоофаги, і як фітофаги).

Не тільки таксономічний склад, але й співвідношення чисельності фітофагів і сапрофагів може бути характеристикою, що відображає екологічні властивості ґрунту. Так, на алювіальних ґрунтах річкових долин серед тваринного населення за чисельністю та біомасою переважають фітофаги.

У ґрунті можна розрізнити новоутворення¹ тваринного походження, об'єднані в такі групи:

1. Копроліти черв'яків, екскременти личинок комах.
2. Структурні грудочки, які викидають мурахи, будуючи мурашники.
3. Кротовини великих ґрунторіїв.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 1

Акимов, М. П. Экология животных [Текст] / М. П. Акимов. – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1959. – 176 с.

Бельгард, А. Л. Степное лесоведение [Текст] / А. Л. Бельгард. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.

Герасимов, И. П. Основы почвоведения и географии почв [Текст] / И. П. Герасимов, М. А. Глазовская. – М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1960. – 236 с.

¹ Під новоутвореннями, згідно з Б. Г. Розановим (1983), ми розуміємо ґрунтовий матеріал, сформований у певні морфологічні відокремлення в процесі ґрунтоутворення або діяльності організмів.

Гиляров, М. С. Закономерности приспособления членистоногих к жизни на суше [Текст] / М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1970. – 275 с.

Гиляров, М. С. Зоологический метод диагностики почв [Текст] / М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1965. – 276 с.

Гиляров, М. С. Кивсяки (*Juloidea*) и их роль в почвообразовании [Текст] / М. С. Гиляров // Почвоведение. – 1957. – № 6. – С. 74–80.

Гиляров, М. С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых [Текст] / М. С. Гиляров. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 280 с.

Добровольский, Г. В. Экологические функции почвы [Текст] / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М.: МГУ, 1986. – 136 с.

Злотин, Р. И. Роль животных в биологическом круговороте лесных экосистем [Текст] / Р. И. Злотин, К. С. Ходашова. – М.: Наука, 1974. – 200 с.

Зражевский, В. Н. Дождевые черви как фактор плодородия лесных почв [Текст] / В. Н. Зражевский. – К.: Изд-во АН УССР, 1957. – 271 с.

Ивлев, А. М. Эволюция почв [Текст]: курс лекций / А. М. Ивлев. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. – 99 с.

Козловская, Л. С. Роль почвенных беспозвоночных в трансформации органического вещества болотных почв [Текст] / Л. С. Козловская. – Л.: Наука, 1976. – 211 с.

Мордкович, В. Г. Зоологическая диагностика почв лесостепной и степной зон Сибири [Текст] / В. Г. Мордкович. – Новосибирск: Наука, 1977. – 110 с.

Пахомов, О. Є. Функціональне різноманіття ґрунтової мезофауни заплавної степових лісів в умовах штучного забруднення середовища [Текст] / О. Є. Пахомов, О. М. Кунах. – Д.: Вид-во ДНУ, 2005. – 324 с.

Почвоведение [Текст]: учеб. для ун-тов: в 2 ч. / Г. Д. Белицина [и др.] / под ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. – М.: Высш. шк., 1988. – Ч. 1: Почва и почвообразование. – 400 с.

Розанов, Б. Г. Морфология почв [Текст] / Б. Г. Розанов. – М.: МГУ, 1983. – 320 с.

Соколов, И. А. Взаимодействие почвы и среды: почва-память, почва-момент [Текст] / И. А. Соколов, В. О. Таргульян // Изучение и освоение природной среды. – М., 1976. – С. 150–164.

Стебаев, И. В. Животное население первичных наскальных почв и его роль в почвообразовании [Текст] // Зоол. журн. – 1958. – Т. 37, вып. 10. – С. 1433–1448.

Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере [Текст] / Г. В. Добровольский [и др.]. – М.: Наука, 2003. – 364 с.

Тихоненко, Д. Г. Грунтознавство [Текст]: підручник / Д. Г. Тихоненко, М. О. Горін, М. І. Лактіонов; за ред. Д. Г. Тихоненка. – К.: Вища освіта, 2005. – 703 с.

Травлеев, А. П. Лес и почвы в условиях степи [Текст] / А. П. Травлеев, Л. П. Травлеев. – Д.: ДГУ, 1988. – 85 с.

Чекановская, О. В. Дождевые черви и почвообразование [Текст] / О. В. Чекановская. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 206 с.

РОЗДІЛ 2 ЕКОЛОГО-ФАУНІСТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ПРЕДСТАВНИКІВ ҐРУНТОВИХ БЕЗХРЕБЕТНИХ

2.1. ТИП НАЙПРОСТІШИ (PROTOZOA)

Найпростіші – одноклітинні мікроскопічні тварини, які є типовими представниками нанофауни ґрунту. Їх тіло морфологічно складається з однієї клітини, яка є самостійним організмом із усіма притаманними йому функціями (живлення, виділення, розмноження тощо). Перші відомості про найпростіших були одержані після винаходу мікроскопа. Філогенетично це неоднорідна група. Сучасну систематику найпростіших не можна вважати закінченою. Зазвичай їх ідентифікацію здійснюють за визначниками для водних *Protozoa*. Однак особливості існування в ґрунті, які полягають в умовах газового, сольового, окисно-відновлювального процесів, теплового режиму, відображаються на будові найпростіших. Найбільш морфологічно близькими до водних форм *Protozoa* є представники *Ciliata*. Ідентичність ґрунтових *Rhizopoda* та *Mastigophora* з формами з водою установити складно.

Ґрунтові найпростіші є гідробіонтами і мешкають у ґрунтових порах, заповнених водою. Життя цих тварин у ґрунтових мікросередовищах накладає відбиток на морфологію найпростіших. Розмірами ґрунтові найпростіші поступаються водним. Так, якщо довжина амеб, які мешкають у водному середовищі, коливається в межах 50–100 мкм, то в ґрунтових представників вона сягає 10–15 мкм. Розмір ґрунтових інфузорій близько 20 мкм, при цьому в них наявна сильна метаболія тіла порівняно з видами, які живуть у воді. У представників ґрунтових джгутиконосців відсутній передній джгут.

Чисельність найпростіших у ґрунті може бути дуже високою. Так, у його 1 г знаходять до декількох сотень тисяч клітин цих тварин. Їх біомаса в сприятливих умовах (лучних ґрунтах) може досягати 30–40 г/м². Одним із найсуттєвіших факторів, що регулюють життя найпростіших у ґрунті, є кількість бактерій, якими вони живляться. Вони поїдають також клітини грибів, дріжджів, водоростей, проявляючи при цьому вибірковість. Важливе місце серед найпростіших посідають детритофаги. Деякі їх представники живляться осморофно.

Особливості географічного поширення ґрунтових найпростіших на сьогодні ще не достатньо досліджені. Вважають, що більшість видів наявні по всій земній кулі. Космополітизм найпростіших обумовлений здатністю утворювати цисти й легкістю перенесення їх потоками повітря чи тваринами. Так, у ґрунтах європейських

лісів виявлено 124 види найпростіших, з яких 34 належать до представників джгутиконосців, 58 – до кореніжок, 32 – до інфузорій.

Основна роль найпростіших у ґрунті – участь у розкладанні органічної речовини та споживання клітин мікроорганізмів. Серед ґрунтових найпростіших виділяють джгутиконосців, саркодових та інфузорій.

Клас Джгутиконосці (*Mastigophora*)

Джгутиконосці – найдрібніші форми серед ґрунтових найпростіших. Іноді довжина клітин не перевищує 2–5 мкм. Основна морфологічна ознака – наявність джгутика (рис. 2.1.1). Представники джгутиконосців, які мешкають у ґрунті, часто не мають переднього джгутика або мають лише один, направлений назад.

Серед джгутиконосців розрізняють забарвлені види, які містять пігмент хлорофіл (фітомастігін), і незабарвлені, у яких пігмент відсутній (зоомастігін). Фітомастігін займають проміжне місце між рослинами й тваринами. Їх типовим представником є евглена зелена (*Euglena viridis*). Деякі евглени в темряві втрачають хлорофіл і переходять з автотрофного на гетеротрофний тип живлення. Таким чином, вони є організмами зі змішаним типом живлення – міксотрофами.



Рис. 2.1.1. Зовнішній вигляд деяких джгутиконосців

Водночас слід зазначити, що забарвлені джгутиконосці мають тісний філогенетичний зв'язок із водоростями (*Algae*) і за систематикою мають належати до них. Однак монадні форми водоростей (*Cryptomonas*, *Ochromonas*) відіграють важливу роль в активізації ґрунтових процесів і знаходяться в усіх ґрунтах. Сира маса водоростей сягає 1,5 т/га. Слизові речовини оболонки клітин та їх метаболіти впливають на хімічні й фізичні властивості ґрунту. Водорості стимулюють фіксацію молекулярного нітрогену вільноіснуючими азотфіксаторами. Види, які мають здатність до фіксації нітрогену, перші заселяють шахтні відвали і впливають на біологічне освоєння порушених земель. Мікроскопічними водоростями живляться ґрунтові найпростіші.

Забарвлені рухомі джгутиконосці виявлені в усіх ґрунтах у верхніх горизонтах. Так, чисельність *Ochromonas mutabilis* – 500 клітин на 1 г ґрунту, а *Chlamidomonas sp.* – до 47,5 тис. клітин на 1 г ґрунту.

Незабарвлені (позбавлені хлорофілу) джгутиконосці належать до представників зоомастігін. Із філогенетичної позиції забарвлені та незабарвлені представники джгутиконосців близькі між собою. Однак для численних безбарвних форм характерний зоотрофний тип живлення. Практично всі види безбарвних джгутико-

носців можна знайти в лісових ґрунтах і окультурених аналогах. Але найбільша різноманітність форм наявна в лісових підстилках (H_0) – до 500 тис. у 1 г ґрунту.

Клас Саркодові (Sarcodina)

Основна маса саркодових – мешканці морів. Водночас із морськими існують види, які живуть у прісних водоймах, ґрунті, а також в інших організмах (рис. 2.1.2). Загальна кількість саркодових – близько 10000 видів.

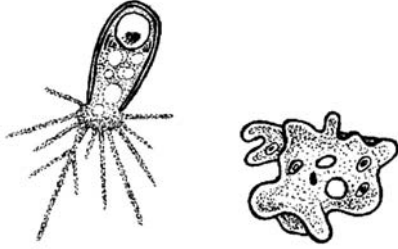


Рис. 2.1.2. Зовнішній вигляд саркодових

Для ґрунтових зоологів найбільший інтерес становлять кореніжки (*Rhizopoda*). Серед них розрізняють голих та черепашкових амеб. За розмірами вони більші, ніж джугутиконосці. Розмір черепашки амеб може сягати 65 мкм.

Характерною ознакою амеб є нестала форма тіла. Клітини саркодових здатні утворювати вирости різної форми (псевдоподії, або несправжньоніжки). За їх допомогою тварини пересуваються. Більшість амеб одноядерні, але існують і багатоядерні види. У цитоплазмі клітини розташовані скоротливі, травні вакуолі. Іноді амебоїдні форми можуть утворювати джугутики і плавати, як представники *Mastigophora*. У таких випадках їх складно розрізнити. Розмножуються амеби нестатевим та статевим шляхами. Утворюють цисти. Об'єктами живлення амеб є бактерії, одноклітинні водорості, дріжджі. Споживаючи дріжджі, амеби викидають спори або краплі неперетравленого жиру.

Активні клітини голих амеб і цисти можна виявити прямим мікроскопуванням. Трофозоїти амеб мешкають у заповнених розчином капілярах і порожнинах між ґрунтовими часточками. У нормально зволоженому ґрунті амеби живуть у водних плівках, які утворюються навколо часточок ґрунту.

До амеб, які мешкають у ґрунті, належать *Naegleria gruberi*, *N. bistadialis*, *Sapinia diboidea*. Специфічний зовнішній вигляд мають черепашкові амеби (тестациї). Від голих амеб вони відрізняються наявністю черепашки, яка виконує захисну функцію. Прикріплена амеба до внутрішньої стінки черепашки за допомогою коротких цитоплазматичних ниток – епіподій. Дослідження цитоплазми цього виду амеб ускладнене наявністю черепашки. Ядро в них майже завжди одне. Скоротливі вакуолі – як у голих амеб.

Псевдоподії амеб можуть бути відносно короткими із закругленими кінцями (лобоподії). Інший тип псевдоподій – видовжені (філоподії). Для ґрунтових видів

амеб характерне своєрідне утворення псевдоподій у вигляді пласкої вентральної сторони (“підшви”).

Відповідно до матеріалу, з якого складаються черепашки тестациї, виділяють три їх типи:

1 – суто органічні, одношарові (*Arcella*). Мають дрібнокомірчасту структуру, складаються з білка типу кератину;

2 – черепашки містять екзогенні мінеральні частинки (ксеносоми), які амеба поглинає разом із їжею і виділяє за допомогою цитоплазми на поверхню. Ксеносоми – дуже дрібні піщинки, що чергуються з частками детриту, стулками діатомових водоростей. Вони можуть вистилати черепашку повністю чи бути наявні на її поверхні;

3 – черепашки вкриті мінеральними елементами ендегенного походження – ідіосомами. Це круглі, овальні, прямокутні пластинки з кремнезему.

Форма черепашок може бути різноманітною: дископодібною (*Arcella*), овальною (*Nebela*), сферичною (*Bullinularia*). Розрізняють передню (приустеву), часті стиснуту частину черепашки, і задню, дещо здуту – “черевце”, у якому й розташована цитоплазма. Крім того, виділяють у черепашок пласку черевну (вентральну) поверхню і опуклу спинну (дорзальну). Приустева частина дорзальної поверхні може утворювати “козирок”. Устя можуть бути різними за розміром та формою – великими, малими, округлими, щілиноподібними.

Черепашки довго зберігаються в ґрунті і їх часто використовують як один із показників під час біологічної індикації та діагностики ґрунтів. За функціональними особливостями в ґрунті черепашкові амеби належать до сапрофагів. На сьогодні в ґрунтах виявлено 220 видів черепашкових амеб (тестациї), які належать до 16 родин і 39 родів.

Клас Війчасті інфузорії (Ciliata)

Із числа одноклітинних тварин інфузорії (циліати) мають найбільш складну будову. Цитоплазма завжди чітко розподілена на два шари – зовнішній (ектоплазма) та внутрішній (ендоплазма). Зовні клітина вкрита великою кількістю війок (рис. 2.1.3). У цитоплазмі знаходяться травні та скоротливі вакуолі, макро- та мікронуклеуси, відсутні в кореніжок та джугутиконосців. У цих тварин наявний клітинний рот, оточений диференційованим війчастим апаратом. Довжина клітини інфузорії 80–180 мкм, ширина у 2–3 рази менша.

Життєдіяльність інфузорій більшою мірою порівняно з іншими групами *Protozoa*, які існують у ґрунті, залежить від ґрунтових умов – вологості, температури, гранулометричного складу ґрунту, кислотної реакції середовища, складу органічної речовини. У природі зафіксовані 41 вид, 26 родів вільноіснуючих інфузорій.

За рахунок швидкого розмноження, інцистування й пасивного поширення повітряними масами та водними потоками багато видів інфузорій існують у воді, ґрунтах, компостах, мохах.

Ґрунтові інфузорії розподіляють на декілька підкласів. Представники підкласу *Holotricha* мають війки, рівномірно розташовані по всій клітині. Представники підкласу *Spinotricha* мають спіральні ряди війок від заднього кінця клітини

до ротового отвору. Клітини представників підкласу *Peritricha* поперечно “зрізані” на оральному кінці, а ротова ямка оточена двома рядами редукованих війок.

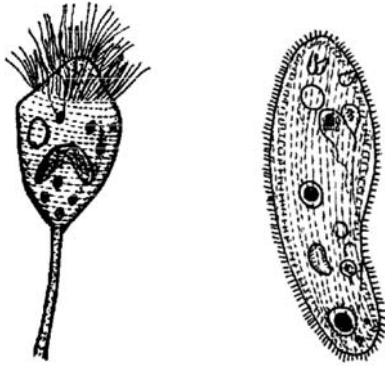


Рис. 2.1.3. Зовнішній вигляд інфузорій

Специфічною є фауна циліат, що населяє прибережні піски. Інфузорії війками прикріплюються до частинок піску й утримуються від вимивання припливними водами. Вони численні в місцях розвитку одноклітинних водоростей, які служать їм їжею.

2.2. ТИП КІЛЬЧАСТІ ЧЕРВИ (ANNELIDA)

Клас Малощетинкові (*Oligochaeta*)

Родина Енхитреїди (*Enchytraeidae*)

Енхитреїди належать до класу малощетинкових червів, який включає ґрунтові та напівводянні форми. У ґрунтах помірного поясу зафіксовані більше 500 видів цієї родини, однак фауна енхитреїд досліджена не повністю. Розміри енхитреїд коливаються в межах від 2–3 мм до 40–45 мм у довжину за товщини 0,2–0,8 мм.

Енхитреїди можуть існувати в літоральній зоні на морських побережжях, де вони харчуються скупченнями відмерлих водоростей. Особливо численні ці тварини в лісових ґрунтах, під наметом деревної рослинності. Також вони живуть на луках, у вологому та орному ґрунті й навіть у тундровому ландшафті. Так, у полярних широтах енхитреїди є однією з домінуючих груп. У мохо-лишайникових місцях існування їх біомаса сягає 3,8–7,8 г/м². Енхитреїди відзначаються численністю. Так, у хвойних лісах їх кількість становить до 134 екз./м², на луках – 25–200 тис. екз./м².

Для пересування в ґрунті найменші представники енхитреїд використовують природні ґрунтові пори й канали. Великі види самі риють ходи в ґрунті. У кишечнику енхитреїд органічні та мінеральні речовини змішуються і викида-

ються у вигляді копролітів. Вони значною мірою можуть впливати на хімічний склад ґрунту. Для цих червів характерна висока мозаїчність розподілу в середовищі існування. Це пов'язано з їх чутливістю до перепадів вологи в ґрунті. У той же час деякі види здатні протягом досить тривалого часу витримувати температуру, нижчу 0°C, і були виявлені навіть у мерзлом ґрунті.

Для живлення енхитреїди потребують органічного детриту й мікрофлори. Деякі види ведуть хижий спосіб життя, але приуроченість цих червів до скупчень рослинних решток, що розкладаються, дозволяє розглядати сапрофагію як основний спосіб живлення. У той же час необхідно зазначити, що енхитреїдам притаманна вибірковість щодо різних компонентів органічних залишків. На основі цього були виділені три екологічні групи:

1. Мікрофітофаги – мешканці листяного опаду, які живляться мікрофлорою, екскрементами колембол.
2. Копрофаги – мешканці ферментативного шару підстилки, які живляться екскрементами великих безхребетних-сапрофагів.
3. Мешканці гумусового шару ґрунту, які споживають органічний детрит.

Основна маса енхитреїд скупчена у верхньому корененасиченому шарі ґрунту. Їх можна знайти біля коренів трав'янистих рослин, уражених нематодами. Живлячись нематодами, енхитреїди проникають усередину уражених коренів. У ґрунті найбільш оптимальні умови для існування ці черви знаходять у гумусовому горизонті.

Родина Дощові черв'яки (*Lumbricidae*)

Представники родини люмбрицид належать до найбільш поширених у ґрунті безхребетних. Дощові черв'яки належать до кільчастих червів, усього їх налічують більше 200 видів.



Рис. 2.2.1. Зовнішній вигляд дощового черв'яка

Для цих безхребетних характерне сильно витягнуте циліндричне сегментоване тіло. На передньому кінці знаходиться невелика рухлива головна лопать, що не має антен, очей та пальп. Кожен сегмент тіла, крім переднього, де розміщений ротовий отвір, має маленькі щетинки, які ростуть зі стінок тіла. Число сегментів залежить від розмірів черв'яка. Довжина тіла тварини коливається від 2–3 до 25 та більше сантиметрів. Австралійський дощовий черв'як *Megascolides australis* сягає довжини 2,5 м.

Участь дощових черв'яків у процесах ґрунтоутворення давно є предметом уваги вчених. Уперше цю функцію тварин описав Чарльз Дарвін у 1899 р. Дощові черв'яки мешкають у різних природних зонах, чисельність їх коливається залежно

від місця існування. Так, у широколистих лісах їх кількість дорівнює 20–400 екз./м², а в орному шарі сягає 10–1 500 екз./м².

Серед дощових черв'яків виділяють різні екологічні групи, які розрізняють за характером вертикального розподілу в ґрунті, морфологічними особливостями, характером живлення, вимогливістю до газового режиму, вологості, *pH* ґрунту.

За характером живлення розрізняють два морфоекологічні типи черв'яків – споживачі листяної підстилки на поверхні ґрунту і споживачі детриту. Види, які мешкають на поверхні, часто поїдають екскременти великих травоядних тварин. Такий представник, як *Eisenia foetida* є спеціалізованим споживачем компосту.

Основними живильними ресурсами дощових черв'яків є сполуки, що містять нітроген, оскільки ці тварини потребують значної його кількості. Запас цього елемента в ґрунті обмежений, тому його вміст та доступність білків визначають просторову локалізацію популяцій дощових черв'яків у різних місцях існування. Черв'яки, які мешкають у мінеральних горизонтах ґрунту й живляться детритом, не можуть поїдати нерозкладений листяний опад. Вони споживають значну кількість коренів рослин.

Широковідомою є здатність дощових черв'яків житись залишками і навіть тканинами зелених рослин. В окремих випадках їжею для них можуть бути ґрунтові водорості, які вони заковтують з органічним детритом. Активність живлення дощових черв'яків зумовлює нейтралізацію кислих продуктів розкладу органіки й підвищує величину *pH* у харчовій масі. За умов високої чисельності черв'яки можуть сприяти підвищенню *pH* ґрунту. Це пов'язано з виділенням вапняковими залозами в кишковому тракті кальцію, який активно реагує з різними сполуками в процесі перетравлення їжі. Слід зазначити, що в кишечнику черв'яків відбувається пришвидшений розклад органіки порівняно з ґрунтом. В екскрементах цих тварин стимулюється мінералізація органіки. У них різко зростає чисельність актиноміцетів та інших мікроорганізмів.

2.3. ТИП КРУГЛІ, АБО ПЕРВИННОПОРОЖНИННІ ЧЕРВИ (NEMATHELMINTES)

Клас Коловертки (*Rotatoria*)

Коловертки належать до багатоклітинних тварин. Це дуже дрібні (від 0,01 мм до 2,5 мм) безхребетні, розмір яких у більшості випадків не перевищує розміру великих інфузорій. Форми тіла сильно варіюють. Воно може бути шароподібним (*Trochosphaera*) або, як у більшості представників, видовженим і розділеним на три частини: передню головну з миготливим апаратом; тулубну, що містить усі внутрішні органи; задню (ножну). Нога в деяких випадках може бути відсутня. Головний відділ слабо відокремлений від тулубного. Передній кінець першого відділу в деяких випадках має вигляд диска, оточеного по краю вінчиком

великих війок. За вінчиком на черевному боці голови розташований рот, позаду нього – другий вінчик війок, менших. Сукупність обох вінчиків утворює характерний для *Rotatoria* колообертальний апарат. Війки його постійно мерехтять, що обумовлює рух тварини та захоплення їжі. Форма колообертального апарату мінлива. Краї передротного диска можуть утворювати різні вирости або крайові пластини.

Тулуб коловерток укритий панциром і може бути циліндричним або стиснутим дорзвентрально чи з боків (рис. 2.3.1). Нога в коловерток являє собою м'язовий виріст тіла, вкритий членистою оболонкою. На її кінці наявні два щупальцеподібні рухливі відростки (пальці). За допомогою ноги коловертка повзає, витягуючись у напрямку руху й тимчасово прикріплюючись переднім кінцем тіла до субстрату.

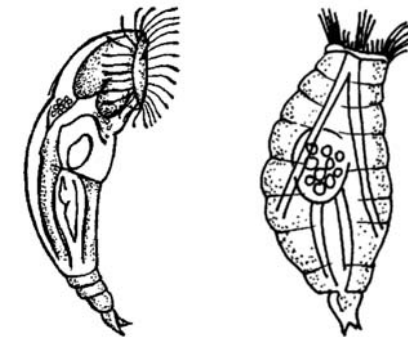


Рис. 2.3.1. Зовнішній вигляд коловерток

Більшість коловерток мешкає в морях і прісних водах. Лише окремі з них пристосувались до життя в ґрунті. Найчастіше вони населяють мохи та лісову підстилку. Наземні коловертки здатні витримувати повне висихання ґрунту, залишаючись живими. При цьому вони впадають у анабіотичний стан, але після збільшення вологості оживають.

Коловертки, які знаходяться в сухому стані, здатні протягом 4 год витримувати зниження температури до –270 °С (рідкий гелій), а протягом 5 хв – підвищення температури до 100 °С. Такі особливості дозволяють їм пристосовуватися до жорстких умов існування в ґрунті.

Коловертки живляться водоростями, бактеріями, детритом. Серед них є і хижаки, які поїдають найпростіших, інших коловерток. Основна їх частина – поліфаги, тобто мало обмежені у виборі їжі, але є і монофаги, які живляться певним типом водоростей або тільки детритом. Існують представники, які прикріплюються до субстрату, і такі, які вільно плавають у водних капілярах та плівках.

Клас Нематоди (Nematoda)

Нематоди належать до типу круглих, або первиннопорожнинних червів. Форма їх тіла веретеноподібна. Поперечний зріз тіла круглий. На передньому кінці розташований рот, на задньому на черевному боці – відхідник. Тіло не членисте (рис. 2.3.2). Наявна первинна порожнина тіла у вигляді щілини між внутрішніми органами. Більшість круглих червів різностатеві. Кровоносна й дихальна системи відсутні. Видільної системи може не бути зовсім. Вона може бути протонефридального типу або являти собою видозмінені шкірні залози. Нервова система побудована за типом ортогон. Кишечник утворює пряму трубку, витягнуту вздовж усього тіла.

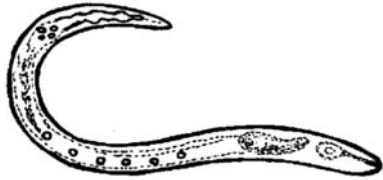


Рис. 2.3.2. Зовнішній вигляд нематоди

Нематоди мешкають у морях і прісних водоймах, деякі види є паразитами людини, тварин. Значне число видів пристосувалось до життя в ґрунті, при цьому вони становлять більшість його населення за кількістю особин. У ґрунті виявлено до 5 000 видів нематод. До них належать вільноіснуючі справжні ґрунтові форми й фітопаразити. Біомаса нематод – 2 % від загальної зоомаси в ґрунті. Чисельність цих тварин вимірюють мільйонами на 1 м², вона сильно варіює в різних ландшафтах.

Розміри нематод, які мешкають у ґрунті, коливаються від 0,05 мм до 5 мм. Ґрунтові нематоди дуже поширені в усіх природних зонах земної кулі. Вони здатні переносити вплив несприятливих погодних умов у неактивному стані, мають короткі цикли розвитку і швидко проникають у місця накопичення рослинних решток. Ґрунтові нематоди є активними регуляторами чисельності сапротрофних мікроорганізмів. У деяких випадках відіграють роль збудників гнильних процесів у рослин. Так, фітонематоди за допомогою своїх стилетів потрапляють у клітини, відкриваючи при цьому шляхи для проникнення в рослину грибкових і бактеріальних інфекцій.

Існує декілька класифікацій спеціалізації нематод за живленням, яка обумовила кардинальні морфофункціональні зміни їх травної системи. Згідно з однією з них виділяють чотири групи нематод: еусапробіонти, девісапробіонти, паразитобіонти й фітогельмінти.

До *еусапробіонтів* належить найбільша кількість нематод, які мешкають на рослинних рештках, що розкладаються в ґрунті. Вони живляться гнильними мікроорганізмами. У процесі розкладу рослинних тканин відбуваються сукцесійні зміни комплексів еусапробіонтів, пов'язані з сукцесією мікрофлори. Їжею еусап-

робіонтів є дрібні частинки, наявні у воді разом із розчиненими в ній продуктами розкладу рослинних тканин.

Девісапробіонти – живляться мікроорганізмами й соками кореневих клітин. Ряд видів споживає вміст клітин ґрунтових водоростей та гіфів грибів. Їх ротовий отвір нерівномірно склеротизований, і нематоди можуть розгризати кутикулу рослиної клітини.

Паразитобіонти живляться водоростями, бактеріями, міцелієм грибів, вмістом кореневих клітин. Фітопаразитичні нематоди мають стилети, за допомогою яких споживають тільки рідку їжу. Паразитобіонти концентруються в ризосфері рослин, але живляться переважно найпростішими, які мешкають на коренях, а також грибами і водоростями в ризосфері.

Фітогельмінти представлені спеціалізованими паразитами рослин. Також серед них є види, пов'язані з сапротрофними ґрунтовими організмами. Ряд форм фітогельмінтів є монофагами.

Нематоди меншою мірою, ніж кліщі чи ногохвістки беруть участь у розкладанні рослинних решток. Але за рахунок того, що вони споживають у їжу мікробну біомасу з високим вмістом білка, їх виділення збагачені нітрогеном. Біомаса нематод є важливим джерелом нітрогену, тому їх значення можна оцінити з позиції впливу на баланс нітрогену в ґрунті.

2.4. ТИП ЧЛЕНИСТОНОГІ (ARTHROPODA)

Клас Ракоподібні (Crustacea)

Ряд Рівноногі ракоподібні (*Isopoda*); Надродина Мокриці (*Oniscoidea*)

Мокриці належать до рівноногих ракоподібних, для яких характерна висока пластичність організації, що дозволяє їм існувати в морях, прісних водоймах, на суходолі. Тіло мокриць сегментоване. На голові розташовані фасеткові очі. На грудних сегментах розташовані ходильні ніжки (рис. 2.4.1). Черевце коротше за груди. Органи дихання являють собою листоподібні зяброві гілки. Екзоподити однієї пари черевних ніг утворюють міцну кришку, що захищає всі зяброві листочки. Така будова дихального апарату дозволяє мокрицям пристосовуватися до життя на суходолі. Вони дихають киснем, розчиненим у тонкому шарі вологи, що вкриває зяброві листочки. Деякі види мокриць можуть дихати атмосферним повітрям завдяки глибоким впинанням покривів на екзоподитах передніх черевних ніг, від яких відходять сліпозамкнені на кінцях дихальні трубочки, які називаються псевдотрахеями.

Надродина *Oniscoidea* – єдина група з рівноногих ракоподібних, які повністю перейшли до суходільного способу життя. Серед мокриць виділений ряд екологічних груп – від гідрофілів до помірних ксерофілів, яких розрізняють за характером зонального та стаціозонального розподілу. Завдяки високій пластичності та потужному адаптаційному потенціалу мокриці освоїли різноманітні біотопи, проникли навіть в аридні райони. Незважаючи на те, що кальциновані покриви зни-

жують інтенсивність випаровування води з організму, мокриці можуть існувати лише в атмосфері високої вологості. У помірному поясі вони мешкають на поверхні ґрунту в підстилці, а в аридних ландшафтах із жорстким гідротермічним режимом можуть проникати в ґрунт на глибину 1 м, викопуючи розгалужені ходи.

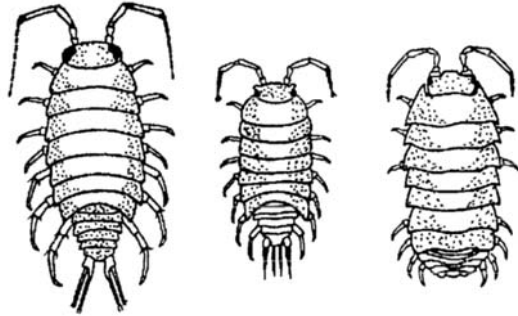


Рис. 2.4.1. Зовнішній вигляд мокриць

Більшість мокриць, які мешкають у підстилці, є сапрофагами. Для пустельних форм характерна фітофагія. У цих тварин перехід від сапрофагії до фітофагії виник як адаптація для компенсації дефіциту вологи в організмі за високої швидкості випаровування в умовах жаркого клімату. У мокриць, які живуть у лісовій підстилці, у кишечнику іноді наявні зелені частини рослин. Однак рослинні тканини, очевидно, служать для цих безхребетних джерелом вологи, оскільки мокриці не проявляють щодо них вибірковості. У той же час багатьом видам мокриць притаманна чітка харчова спеціалізація щодо різних видів листяного опаду та деревини.

У амфібіотичних мокриць, які живляться на суходолі у вологому ґрунті, в кишечнику наявні рештки вищих рослин і ґрунтових мікроартропод.

Питання ролі мікрофлори в живленні наземних мокриць протягом довгого часу залишалось суперечливим. Однак загальний метаболізм мікрофлори в екскрементах мокриць одразу після викидання їх із організму значно вищий, ніж в опаді, що розкладається, або в ґрунті.

Незважаючи на велике різноманіття ґрунтових об'єктів, наземні мокриці є переважно фітосапрофагами і основне їх значення у функціонуванні комплексів існуючих у ґрунті безхребетних полягає в первинній деструкції рослинних решток на поверхні ґрунту.

Клас Павукоподібні (Arachnoidea)

Ряд Павуки (Aranea)

Павуки (рис. 2.4.2) належать до тих безхребетних тварин, місця існування та спосіб життя яких досить різноманітні. Серед павуків виділяють евритопні (поширені в різних місцях існування) форми, до яких належить павук-хрестовик, та

стенотопні (види вузького кола місць існування) – типовим представником яких є *Hypiptotes paradoxus*, який мешкає тільки на яліні.

Незважаючи на те, що багато видів павуків можуть існувати в ультрагідрофільних умовах – біля річок, боліт, озер, а водяний павук *Argyroneta aquatica* навіть пристосувався до життя у воді, більшість із них мешкає в пустелях, степах, лісах, луках. Їх можна побачити на трав'янистих рослинах, деревах, кущах, під корою, листям, на скелях під камінням тощо.

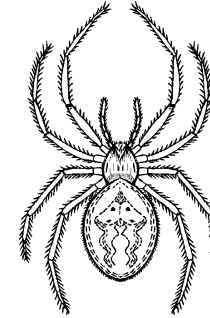


Рис. 2.4.2. Зовнішній вигляд павука

Види павуків, які мешкають у ґрунті, заселяють різноманітні заглиблення та порожнини, наприклад нори, залишені гризунами або рийними комахами. Вони можуть жити під камінням чи самостійно будувати собі норки. Для павуків, які мешкають у ґрунті, притаманні морфологічні адаптації до такого способу існування – короткі міцні ноги, грубий бородавчастий покрив. Специфіка способу життя, у свою чергу, накладає відбиток на взаємодію павуків із ґрунтом. Оскільки павуки – типові хижаки, ця взаємодія не досить істотна. Але водночас слід зазначити, що як активні зоофаги вони беруть безпосередню участь у кругообігу мікрота макроелементів у різних біогеоценозах.

Широковідомі будівельні інстинкти павуків, їх прагнення до створення складних лігвищ, які слугують притулком для них (рис. 2.4.3). Під час побудови лігва подібно до типових безхребетних тварин – мешканців ґрунту – вони активно порушують ґрунтовий покрив, а також сприяють проникненню вологи в більш глибокі ґрунтові горизонти. Так, одні види павуків роблять лише невеликі заглиблення в ґрунті; другі – викопують неглибокі норки, недосконалі за обробленням; треті – будують правильні вертикальні норки глибиною до 1 м, вистилаючи їх павутинням; четверті – закривають норки зверху спеціальними кришечками (*Tarentula oriphex*).

У деяких мігаломорфних павуків з'являються морфологічні адаптації до існування в тісній норці. Їх тіло масивне та закруглене. Ноги короткі й міцні, педипальпи можуть щільно прилягати до тіла. На хеліцерах з'являються своєрідні зубці, які павуки використовують для риття ґрунту.

Крім норок лігвищами для павуків служать трубки. Довжина трубки може бути різною. Один кінець її в більшості випадків занурений на певну глибину у ґрунт, а інший виходить під камінням, серед трави або моху.

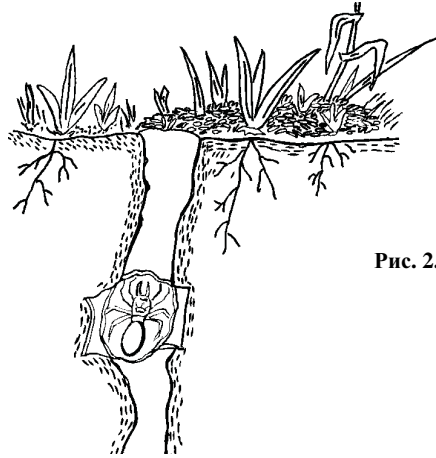


Рис. 2.4.3. Павук у норці, виритій ним у ґрунті

Павуків найчастіше можна побачити у верхньому ґрунтовому горизонті – підстильці. Зоогеографічне поширення, приуроченість до багатьох біогеоценозів, таксономічне різноманіття, значення в структурно-функціональних комплексах ґрунтових безхребетних робить їх важливим об'єктом зооекологічних ґрунтових досліджень.

Клас Комахи (Insecta)

Підклас Прихованощелепні (Entognatha)

Ряд Ногохвісткі, або Колебболи (Collembola)

Колебболи – безкрилі дрібні прихованощелепні безхребетні тварини, які належать до класу комах (рис. 2.4.4). Для них характерна наявність на черевці стрибальних придатків. Колебболи мешкають у ґрунті, підстильці, можуть підніматись у трав'яний ярус. Вони заселяють гниючу деревину, мохові та лишайникові біотопи, наскельні ґрунти. Існують у всіх природних зонах. Колебболи малочутливі до низьких температур, але в той же час їх розподіл значною мірою залежить від вологості навколишнього середовища. У більшості випадків вони є гігрофілами. Серед колеббол виділяють три групи життєвих форм.

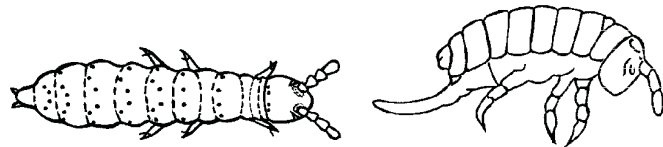


Рис. 2.4.4. Зовнішній вигляд колеббол

До першої групи належать види, які існують на поверхні ґрунту. Вони дуже рухливі, мають добре розвинені очі, пігментовані покриви, добре виражену стрибальну вилку. Вони мешкають у верхній частині підстилки, листяному та хвойному опаді.

До другої групи входять слабкозабарвлені тварини, які мешкають у гумусовому шарі на межі з мінеральним горизонтом. Ці колебболи малорухливі, зазвичай вони не виходять на поверхню підстилки.

Третя група складається з мешканців мінеральних горизонтів, часто сліпих із непігментованими покривами.

Колебболи є типовими вторинними деструкторами органічних решток у ґрунті. Особливо велике значення вони мають у місцях, де первинну деструкцію опадів здійснюють мікроорганізми. Колебболи разом із кліщами є активними регуляторами швидкості мікробіальних сукцесій. Вони відіграють значну роль у формуванні гумусового шару підстилки. Відомо, що 20000 колеббол продукують за добу до 480 мм³ (або 0,48 см³) екскрементів.

Підклас Справжні комахи (Ectognatha)

Справжні комахи, як і прихованощелепні, належать до класу *Insecta*. Їм притаманний чіткий поділ тулуба на голову, груди й черевце. Голова складається з акрона й чотирьох сегментів, груди завжди з трьох сегментів, черевце – з 11 сегментів і тельсона. На голові й грудях розміщені кінцівки. Головною відмінністю цих безхребетних тварин від представників прихованощелепних є наявність крил, що обумовлює їх здатність літати.

Із ґрунтом тісно пов'язане життя як більшості дорослих комах, так і їх личинок (рис. 2.4.5). В окремих випадках дорослі форми можуть не мешкати в ґрунті, а їх личинки навпаки (деякі метелики). Серед комах, які живуть у ґрунті, є активні хижаки (жужелиці, стафілініди) і сапрофаги (представники тарганових, термітів, двокрилих і деяких твердокрилих).

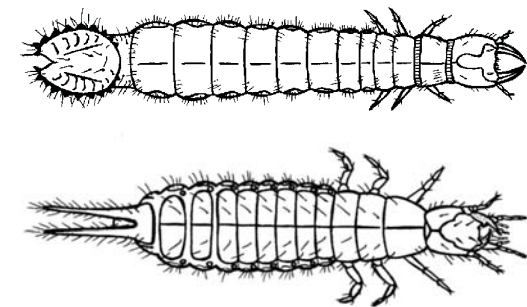


Рис. 2.4.5. Зовнішній вигляд личинок твердокрилих

Таргани, які мешкають у природних умовах на поверхні ґрунту, є переважно фітосапрофагами зі схильністю до фітофагії. Основу їх раціону складають безазотні сполуки, які розщеплюються в кишечнику тварин за допомогою їх ферментів.

Основним джерелом енергії для багатьох термітів є вуглеводи, зокрема полісахариди. Терміти перетравлюють клітковину й рослинні залишки майже повністю.

Діяльність сапротрофних личинок твердокрилих жуків разом з іншими ґрунтовими підстилковими сапрофагами в багатьох екосистемах має велике значення в процесах розкладання органічних залишків, особливо відмерлої деревини й екскрементів великої рогатої худоби. Для личинок жуків характерне поєднання сапро- й фітофагії, тобто залежно від умов вони харчуються як живими, так і відмерлими рослинними тканинами. У родині *Alleculidae* наявні форми, які мешкають у підстилці та гнилій деревині, а також у ґрунті.

Багато личинок жуків є сапромікофагами (*Rhysodidae*, *Eucnemidae*). Вони споживають не тільки гіфи грибів, але й продукти їх життєдіяльності, а також рослинні тканини, перероблені грибами.

Дуже своєрідне угруповання серед личинок жуків являють собою копрофаги, до яких належать представники *Scarabaeidae*. Вони живляться рослинними рештками, які піддавалися ферментації та бактеріальному обробленню в кишечнику великих тварин. Діяльність цих личинок сприяє пришвидшенню гуміфікації та мінералізації неперетравлених ссавцями рослинних решток, перетворенню їх на ґрунтовий детрит і перемішуванню з мінеральною масою ґрунту.

Позитивно на властивості ґрунту впливають екскременти комах. Наприклад, представники окремих груп комах можуть здійснювати прямий вплив на ґрунт. Так, саранові в степу можуть дати до 120 кг/га природних добрив за рік. Деякі оси та джмелі влаштовують нори в ґрунті, впливаючи на його порізність.

Клас Багатоніжки (Myriapoda)

Клас Багатоніжки об'єднує наземних тварин, які мають голову та витягнуте тіло, майже на всіх члениках якого розташовані кінцівки. На голові розміщені антени, що є органами чуття та нюху, а також три пари щелеп. Більшість багатоніжок на кожному членику мають пару членистих ніжок, а ківсьяки у зв'язку зі злиттям сегментів – дві пари. По боках сегментів тіла розташовані дихальця, що переходять у пучки розгалужених трахей. Більшість багатоніжок є ґрунтовими тваринами. Існують як хижі, так і рослиноїдні багатоніжки (рис. 2.4.6). До типових представників хижих багатоніжок належать кістянки, геофеліди, сколопендри. Так, геофеліди можуть нападати навіть на дощових черв'яків, у багато разів більших за розмірами та масою.

Представники двопарноногих багатоніжок (диплопод) відомі як активні первинні деструктори підстилки (рис. 2.4.7). Ротовий апарат більшості диплопод гризучого типу. Середня кишка вислана двошаровим секреторним епітелієм. Це притаманно сапрофагам.

Диплоподи зазвичай мешкають на поверхні ґрунту. У період спокою вони можуть заглиблюватись на 20–30 см. Тварини погано переносять як надлишок, так і нестачу вологи. Багатоніжки харчуються щільними рослинними рештками, які подрібнюють у ротовій порожнині. Вони не живляться свіжим опалим листям, яке містить поліфенольні сполуки. Найбільш активно тварини поїдають опад на весні, оскільки покриви листя розкладаються, вилугуюються поліфеноли.

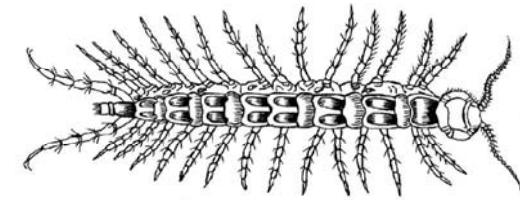


Рис. 2.4.6. Зовнішній вигляд хижої багатоніжки

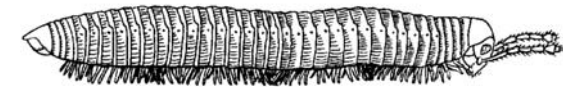


Рис. 2.4.7. Зовнішній вигляд двопарнонога багатоніжки

Велике значення для процесу живлення багатоніжок має вологість їжі. У разі пересихання підстилки ці тварини не вживають її, а переходять на інші об'єкти живлення. У процесі перетравлення харчового опад диплоподи асимілюють близько 50 % зольних елементів, наявних у ньому. При цьому до 90 % від загальної кількості цих елементів становить кальцій, що відкладається в покривах багатоніжок.

Екскременти диплопод являють собою неперетравлені рослинні рештки, аморфну органіку та мінеральні частинки. Вони легко розкладаються під дією води і в ґрунті довго не зберігаються. У тих місцях, де чисельність тварин велика, на поверхні мінерального шару ґрунту під підстилкою формується шар тонкозернистої гуміфікованої маси – муля або модеру.

Умови існування відображаються на живленні багатоніжок. Диплоподи не вживають хвою. У зв'язку з цим у хвойних лісах вони харчуються детритом у гумусовому шарі. Для ківсьяків, які мешкають в агроценозах, характерне поєднання фітосапрофагії з фітофагією. Склад травних ферментів дозволяє ківсьякам засвоювати корінці та зелені рештки рослин. Диплоподи можуть житися також гіфами грибів, але вони не є їх основною їжею, оскільки кисла реакція грибного розкладання явно негативно впливає на них.

Таким чином, слід відзначити, що двопарнонога багатоніжка є спеціалізованою групою споживачів рослинних решток на поверхні ґрунту. Їх харчова активність сприяє формуванню гумусового горизонту ґрунтів і стимулює мікробіальні процеси розкладу.

2.5. ТИП МОЛЮСКИ (MOLLUSCA)

Клас Червоногі (Gastropoda)

У ґрунті мешкають представники червоногих молюсків. Незважаючи на те, що в більшості випадків молюски є мешканцями водних екосистем, червоногі пристосувались до наземного способу життя. Вони мають захисне утворення – черепашку, в яку втягують своє тіло в разі несприятливих умов (рис. 2.5.1). Треба зазначити, що в слимаків, які ведуть наземний спосіб життя, черепашка редукована. Розміри молюсків коливаються від декількох міліметрів до декількох сантиметрів.

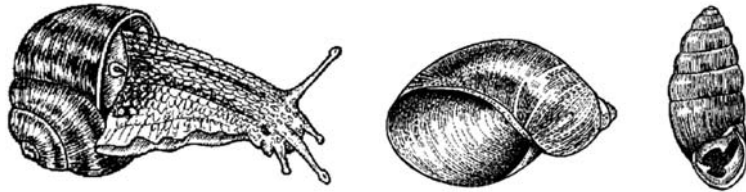


Рис. 2.5.1. Зовнішній вигляд червоногих

Представники червоногих молюсків поширені в районах із помірним кліматом. У біогеоценозах степової зони України їх можна побачити в підстилці й верхніх ґрунтових горизонтах. До факторів, що мають найбільш суттєвий вплив на просторовий розподіл цієї групи тварин, належать температура, вологість, рН, вміст кальцію в ґрунті.

У рівнинних лісах Європи чисельність наземних червоногих молюсків сягає 450 екз./м². Більшість наземних молюсків є рослинодними, але серед них наявні й хижаки – *Zonitidae*. Серед рослинодних молюсків виділяють дві групи:

- 1) споживачі грибів та рослинних залишків;
- 2) споживачі грибів та зелених рослин.

Молюски, які живляться рослинним опадом, перебірливі щодо їжі. Також вони розкладають гнилу деревину. Серед підстилкових видів виділяють типових мікрофагів. До них належать мешканці підстилки хвойних лісів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 2

Гельцер, Ю. Г. Простейшие (Protozoa) как компонент почвенной биоты (систематика, экология) [Текст] / Ю. Г. Гельцер. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 175 с.

Гиляров, М. С. Почвенные раковинные амебы (*Testacea*) и их использование при изучении болотных почв [Текст] / М. С. Гиляров // Почвоведение. – 1955. – № 6. – С. 61–65.

Жуков, О. В. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Дошові черв'яки (*Lumbricidae*) [Текст]: монографія / О. В. Жуков, О. Є. Пахомов, О. М. Кунах / за заг. ред. проф. О. Є. Пахомова. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2007. – 371 с.

Залеская, Н. Т. Определитель многоножек-косянок СССР [Текст] / Н. Т. Залеская. – М.: Наука, 1978. – 212 с.

Зражевский, В. Н. Дождевые черви как фактор плодородия лесных почв [Текст] / В. Н. Зражевский. – К.: КГУ, 1957. – 138 с.

Иванов, А. В. Пауки, их строение, образ жизни и значение для человека [Текст] / А. В. Иванов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1965. – 304 с.

Иванців, В. В. Структурно-функціональна організація комплексів ґрунтових олігохет західного регіону України [Текст] / В. В. Іванців. – Луцьк: РВВ “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2007. – 400 с.

Лихарев, И. М. Наземные моллюски фауны СССР [Текст] / И. М. Лихарев, Е. С. Раммельмейер. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. – 512 с.

Определитель коллембол фауны СССР [Текст] / сост.: А. Б. Бабенко [и др.]. – М.: Наука, 1988. – 214 с.

Стриганова, Б. Р. Питание почвенных сапрофагов [Текст] / Б. Р. Стриганова. – М.: Наука, 1980. – 244 с.

Черный, Н. Г. Двупарноногие многоножки равнинных территорий Украины [Текст] / Н. Г. Черный, С. И. Головач. – К.: Отд. ред.-издат. и реклам. деятельности УкрЦЭНДИСИ, 1993. – 58 с.

Шарова, И. Х. Жизненные формы жужелиц (*Coleoptera, Carabidae*) [Текст] / И. Х. Шарова. – М.: Наука, 1981. – 360 с.

Яхонтов, В. В. Экология насекомых [Текст] / В. В. Яхонтов. – М.: Высш. шк., 1964. – 459 с.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ОБЛІКУ ҐРУНТОВОЇ ФАУНИ

Різні напрямки ґрунтово-зоологічних досліджень обумовлюють специфіку добору безхребетних тварин, які мешкають у ґрунті. Якщо основним завданням дослідження є вивчення таксономічного складу тієї або іншої групи ґрунтових безхребетних певної екосистеми або регіону (дослідження суто фауністичного характеру), то тварин відбирають усіма можливими способами без урахування їх чисельності.

У разі проведення еколого-фауністичних досліджень безхребетних мешканців ґрунту необхідні знання спеціальних методик добору представників різних розмірних груп.

Правильне застосування різних методик обліку безхребетних тварин дозволяє розрахувати їх чисельність, виявити структуру домінування на тому чи іншому таксономічному рівні, визначити співвідношення їх функціональних угруповань у досліджуваній екосистемі (або на конкретній пробній площі), а також провести повноцінні біоіндикаційні та моніторингові дослідження.

3.1. МЕТОДИ ОБЛІКУ ПРОТИСТОФАУНИ (НАНОФАУНИ)

Серед усіх безхребетних, які мешкають у ґрунті, представники нанофауни найменші за розміром. Незважаючи на те, що морфологічно представники протистів складаються з лише однієї клітини, фізіологічно вона виконує функції окремого організму. Серед протистів, які мешкають у ґрунті, слід назвати голих аміб (тип *Sarcomastigophora*), джгутиконосців (тип *Sarcomastigophora*), черепашкових аміб (тип *Sarcomastigophora*), війчастих (*Ciliophora*).

Маленькі розміри представників нанофауни, залежність від екологічних умов існування (вологості, температури, кислотності ґрунту, мінералізації ґрунтового розчину та ін.) визначають специфіку відбору зразків для проведення протозоологічного аналізу. Для того щоб отримати найбільш повне уявлення про якісний і кількісний склад представників нанофауни, які мешкають у ґрунті, необхідно коректно відібрати ґрунтовий зразок, оскільки розподіл найпростіших навіть на невеликій території надзвичайно неоднорідний. У ході протистологічних досліджень, зважаючи на їх складність, аналізують усереднену пробу, яку отримують змішуванням декількох проб.

На пробній ділянці площею 100 м² достатньо відібрати 7–10 зразків ґрунту (або підстилки). Глибина відбору зразків у ґрунтовому профілі залежить від мети дослідження. Їх можна відібрати, починаючи навіть з глибини декількох санти-

метрів. Для поліпшення відбору зразків слід використовувати ґрунтовий бур або лопатку. Під час вивчення розподілу представників протистостофауни по біогоризонтах стінки ґрунтової прикопки зачищають стерильним ножом і зразки ґрунту певної товщини вміщують у пакети. Якщо ґрунтові біогоризонти відрізняються за кольором, структурою та іншими показниками, зразки необхідно відбирати з кожного чи окремого біогоризонту. Проби ґрунту в стерильних пакетах переносять у холодильник (температура камери 4–5 °С) і досліджують одну–дві доби. У разі необхідності тривалого зберігання відібрані зразки висушують до повітряно-сухого стану за кімнатної температури.

Якісний облік ґрунтових одноклітинних безхребетних (за В. Фойснером)

Щоб визначити якісний склад представників одноклітинних безхребетних тварин, відбирають верхній ґрунтовий горизонт глибиною 0–5 см. Для проведення дослідження використовують усереднену пробу (10 проб із площі 100 м²). Проби висушують до повітряно-сухого стану впродовж місяця і переносять у поліетиленовий пакет. Оброблені таким чином проби можуть зберігатись протягом багатьох років. Під час проведення дослідження 10–40 г повітряно-сухого ґрунту вміщують у чашку Петрі й насичують дистиллятом. Матеріал об'ємом 2 мл досліджують на 2, 7, 14, 21 та 28-му добу. Реальний відсоток проростання цист різних видів одноклітинних безхребетних досить малий. Дійсна кількість видів тварин у пробі повинна бути більша, але кращого методу для широкого протозоологічного дослідження ще не розроблено.

Кількісний облік ґрунтових одноклітинних безхребетних

До кількісних методів обліку одноклітинних ґрунтових безхребетних належать: 1) пряме мікроскопування ґрунтової суспензії; 2) культивування безхребетних на твердих або рідких живильних середовищах.

Методика кількісного обліку одноклітинних ґрунтових безхребетних прямим мікроскопуванням ґрунтової суспензії (за С. М. Виноградським)

Метод дозволяє встановити кількість найпростіших, грибів, водоростей, бактерій. Його перевага порівняно з іншими полягає в тому, що він не потребує дорогих реактивів і приладів, крім мікроскопа. Із кожного зразка ґрунту рекомендується готувати не менше п'яти препаратів.

Хід роботи

1. Визначають польову вологість свіжого ґрунту (розд. 4.)
2. Одночасно зі зразка ґрунту з польовою вологістю, приготованого до кількісного визначення, відбирають наважку масою 5 г і зволожують 0,1 %-м розчином пірофосфату натрію об'ємом 0,4–0,8 мл. Пробу розтирають у стерильній ступці (або в чашці Петрі) до однорідно зволоженого стану.

3. Гомогенізовану пробу зволоженого ґрунту повністю переносять у колбу місткістю 250 мл зі стерилізованою водопровідною (або дистильованою) водою об'ємом 45 мл. Колбу закривають стерильною пробкою та впродовж 5 хв збовтують на ротаторі. Потім колбу залишають на декілька секунд, щоб великі часточки ґрунту осіли на дно.

3. Після осідання крупних часток ґрунту на дно колби суспензію відбирають стерильною піпеткою з надпиляним носиком і наносять на предметне скло одну її краплю¹ (≈ 0,02 мл). До суспензії додають краплю 0,1 %-го розчину агару, перемішують і роблять рівномірний мазок площею 400 мм².

Для того щоб площа мазка відповідала потрібній величині, необхідно попередньо накреслити на поверхні скла квадрат розміром 20×20 мм.

4. Мазок після висихання фіксують за умов кімнатної температури 96 %-м етиловим спиртом і фарбують карболовим еритрозином залежно від якості фарби протягом від 1 год до 1 доби.

5. Пофарбовані препарати промивають у 4–5 склянках води, висушують і мікроскопують за допомогою імерсійного об'єктива.

Для кожного препарату визначають середній показник за 100 полями зору мікроскопа.

Кількість одноклітинних у 1 г абсолютно сухого ґрунту обчислюють за формулою

$$N_{\text{заг}} = \frac{V_0 n_1 n_2}{(1/p)m} K_{\text{H}_2\text{O}},$$

де V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування суспензії, мл;

n_1 – кількість краплин у 1 мл суспензії, шт.;

n_2 – кількість одноклітинних у визначеній частці краплі (мазка), екз.;

$1/p$ – частка краплі, яку спостерігали;

m – маса наважки, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку вологого ґрунту на абсолютно сухий ґрунт².

Реагенти

- 0,1 %-й розчин пірофосфату натрію: 0,1 г пірофосфату натрію (х. ч.) розчиняють у мірній колбі місткістю 100 мл. Об'єм доводять дистильованою водою до мітки.

- 0,1 %-й розчин агару: 0,1 г неволокнистого агару розчиняють у мірній колбі місткістю 100 мл у певному об'ємі дистильованої води і доводять до мітки.

Водний агаризований розчин рекомендують готувати саме на неволокнистому агарі, оскільки у волокнистому має місце бактеріальне забруднення.

- Етиловий спирт, 96 %-й розчин.
- Фенол.

¹ Об'єм краплі для даної піпетки розраховують експериментально.

² Обчислення цього коефіцієнта див. у розділі 4, п. 4.2.1.

- Еритрозин (барвник).
- Карболовий еритрозин (барвник): 5 г фенолу та 1 г еритрозину розчиняють у 100 мл дистилату.

3.2. МЕТОДИ ОБЛІКУ МІКРОФАУНИ

До представників мікрофауни належать дрібні безхребетні: колемболи, протури, симфіли, орибатидні й гамазові кліщі. Для них ґрунт являє собою не щільне середовище існування, а систему ходів та порожнин, повітря в яких насичене водяною парою. Ця група тварин має ще одну назву – мікроартроподи. Мікроартроподам, з одного боку, характерна висока чисельність (до декількох тисяч екземплярів на 1 м²), а з іншого – малі розміри. Крім підстилкових форм колембол, розміри яких досягають декількох міліметрів, інших представників добре розглянути можна тільки під бінокляром.

Для обліку цих тварин відбирають ґрунтові проби малих об'ємів. Вилучають мікроартропод із ґрунтової проби в лабораторних умовах ручним розбиранням або за допомогою спеціальних еклекторних методів. Ручне розбирання проби ґрунту і виявлення мікроартропод здійснюють під бінокляром. Воно досить трудомістке й малоефективне. Найчастіше для визначення таксономічного складу й чисельності мікроартропод застосовують метод “автоматичної вибірки” членистоногих із ґрунтового зразка. Він заснований на тому, що мікроартроподи реагують на зміну його вологості. Так, під час підсихання верхньої частини ґрунтового зразка вони заглиблюються в нього та падають у склянку з фіксатором. Усе це відбувається “автоматично”, без участі дослідника.

Метод “автоматичної вибірки” членистоногих

1. Пробу ґрунту об'ємом 5–250 см³ поміщають на сито, вставлене в конус із твердого матеріалу (рис. 3.2.1).

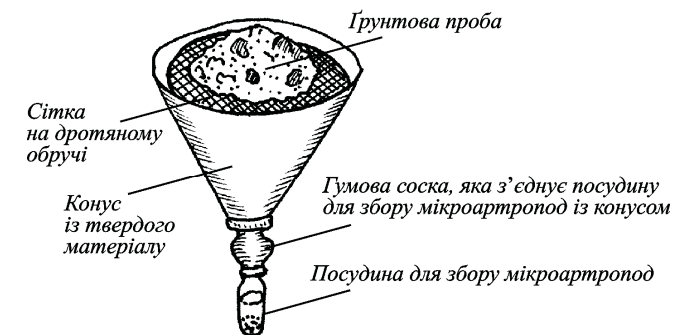


Рис. 3.2.1. Лійка Берлезе–Тулльгрена для вигінки мікроартропод

2. До горлечка конуса прикріплюють посудину з фіксувальною рідиною. Як фіксатор використовують 70 %-й розчин етилового спирту із додаванням декількох крапель гліцерину.

3. Пробу залишають підсихати. Під час підсихання, яке відбувається більш інтенсивно зверху, мікроартроподи пересуваються в нижню частину ґрунтової проби, провалюються крізь отвори сита і по стінках конуса скочуються в посудину з фіксатором.

Подібний метод обліку мікроартропод запропонував шведський ентомолог Тульгрена у 20-х роках ХХ ст. Ґрунтові зоологи широко застосовують поняття “лійка Тульгрена”, “еклектори Тульгрена”. Але метод Тульгрена є модифікацією методу обліку дрібних безхребетних, запропонованого італійським зоологом Берлезе (1905). Прилад, розроблений Берлезе для вигінки мікроартропод із ґрунтового зразка, був громіздким. Головний його недолік полягав у тому, що підігрівати пробу треба було знизу. Пересуваючись углиб ґрунтового зразка, безхребетні попадали в сухий нижній шар ґрунту, де найчастіше гинули. Але, оскільки принцип збору представників мікроартропод уперше був введений Берлезе, еклектори називають “лійками Берлезе–Тульгрена”.

У польових умовах ґрунтові проби в еклекторах можна підсушувати під відкритим небом. Особливо ефективно це робити в сонячну погоду. У приміщенні лійки Берлезе–Тульгрена можна використовувати без спеціального підігріву. Облік представників мікрофауни за допомогою еклекторів вважають найбільш зручним і поширеним серед ґрунтових зоологів. Але якість вигінки мікроартропод із ґрунтового зразка залежить від вологості досліджуваної проби, її гранулометричного складу, режиму підсушування і таксономічного складу тварин.

Зібраних тварин зберігають у 80–90 %-му розчині етилового спирту. Але через декілька років вони твердіють і стають непрозорими навіть після просвітлення. Тому для їх зберігання використовують ізопропіловий спирт. Консервувальні рідини частково змінюють пігмент колембол. Для того щоб чіткіше побачити об'єкт у прохідному світлі, його необхідно просвітлити, тобто знищити або послабити гіподермальний пігмент і розчинити ліпіди на поверхні тіла. Для цього використовують 5–10 %-й розчин КОН.

Просвітлення проводять під бінокляром по 10–20 екземплярів. Особини переносять зі спирту в 5–10 %-й розчин КОН, у якому вони змінюють забарвлення. Темне забарвлення спочатку змінюється на червоне, потім на прозоро-червоне або коричнювате. Ліпіди з поверхні тіла зникають. Після цього їх переносять у свіжий 5–10 %-й розчин фенолу, у якому відбувається нейтралізація лугу. У цьому ж розчині матеріал розправляють.

У ході просвітлення з поверхні тварин змиваються частки ґрунту. Чисті та просвітлені екземпляри переносять у краплю консервувальної рідини на предметному склі. Предметні та накривні скельця повинні бути чистими, знежиреними й сухими. З підготовленого матеріалу роблять тимчасові або постійні мікропрепарати.

Тимчасові препарати з рідких середовищ, які не застигають, зручні тим, що дозволяють маніпулювати об'єктом дослідження під час його визначення. Для

цього використовують предметні скельця з лункою чи спеціальним шліфованим заглибленням. Це досить зручно, тому що в ході спостережень дає змогу надати досліджуваній тварині необхідного положення.

Для виготовлення постійних мікропрепаратів використовують рідину Фора: дистильована вода (50 мл), хлоральгідрат (200 г), гліцерин (40 мл), гуміарабік (30 г).

3.3. МЕТОДИ ОБЛІКУ ПРЕДСТАВНИКІВ МЕЗОФАУНИ

До представників ґрунтової мезофауни належать великі безхребетні тварини: дощові черв'яки, комахи, багатоніжки та ін.

У процесі ґрунтово-зоологічних досліджень найчастіше застосовують прямі методи обліку безхребетних тварин. Вони дають можливість одержати показник кількості тварин на одиницю площі поверхні ґрунту або його об'єму. Непрямі методи обліку застосовують рідше, тому що вони не дають повного уявлення про чисельність тварин, хоча й дозволяють з більшою або меншою точністю порівнювати заселеність пробних ділянок.

Відбір ґрунтових безхребетних у польових умовах методом ґрунтових прикопок

У польових умовах відбір ґрунтових безхребетних здійснюють таким способом:

1. Спочатку визначають площу майбутньої проби кілочками, натягнувши між ними мотузку. Під час розкопок у вологий період року або у вологих районах одна проба являє собою квадрат зі стороною 0,5 м і площею 0,25 м². У більш посушливих районах або в сухі періоди року розмір однієї проби можна збільшити до 1 м² (1×1 м). Це пов'язано з тим, що тварини переміщуються в нижні ґрунтові горизонти й дістати їх із ґрунтової проби 0,25 м² досить складно.

2. Біля розміченої проби розміщують шматок поліетиленової плівки, на яку розкладають пробу ґрунту.

3. Знімають опад, ретельно перебираючи його руками, вибирають усіх наявних тварин, після чого їх фіксують.

4. Прямокутною лопатою викопують ґрунт із площі пробної ділянки, розкладаючи його на поліетиленовій плівці.

5. Вибраний ґрунт ретельно перетирають між долонями, тримаючи їх на висоті, витягають із нього всіх виявлених тварин.

Глибина вибірки ґрунту з пробної площі залежить від мети й завдань дослідження.

Якщо в ході розкопок число представників мезофауни визначають у всьому стовпі проби, яку викопують, то в більшості випадків пробу беруть до нижньої межі зустрічальності ґрунтових тварин.

Найбільш універсальний на ґрунтах із різним механічним складом метод пошарового викопування ґрунту з подальшим його розбиранням та вилученням тварин. Цей метод належить до прямих методів обліку. За ним можна з'ясувати розподіл і розрахувати чисельність тварин у ґрунтових горизонтах.

У весняно-осінній період межа зустрічальності представників ґрунтової мезофауни обумовлена дією на них абіотичних факторів – температури й вологості ґрунту.

У біогеоценозах, де вологість ґрунту досить висока, наприклад у заплавах, його викопування можна робити до глибини 40–50 см, у степових біогеоценозах, особливо в літній період, глибина вибірки ґрунту з пробної площі може сягати 1 м і більше, при цьому площу проби можна збільшувати до 1–2 м².

У процесі дослідження особливостей розподілу представників мезофауни на різних ґрунтових горизонтах проводять пошарові розкопки, що дозволяють виявити глибину перебування представників окремих таксономічних угруповань. Доцільно аналізувати розподіл безхребетних тварин у ґрунті за його десятисантиметровими шарами (рис. 3.3.1).

Після відбору проб до глибини зустрічальності ґрунтових безхребетних необхідно виміряти ґрунтові горизонти й відібрати з них зразки ґрунту для визначення його польової вологості. Для обліку представників мезофауни найбільш сприятлива така вологість ґрунту, за якої із ґрунту, затиснутого в жмені, утворюється грудка, що зберігає свою форму в розтиснутій руці, але легко розсипається від незначного удару, а ґрунт при цьому не пристає до руки. У випадку такої вологості поверхневого шару ґрунту безхребетні знаходяться біля його поверхні, а ґрунт легко перебирати й просіювати.

Після вилучення з ґрунту тварин фіксують у скляних або пластикових посудинах. Як фіксатор використовують 70 %-й етиловий спирт із додаванням декількох крапель гліцерину на одну пробу.

Відбір проб представників ґрунтової мезофауни можна проводити не тільки із застосуванням методу ґрунтових прикопок. Існують також інші методи відбору.

Відбір ґрунтових безхребетних у польових умовах із використанням бура

На торф'янистому й легкому супіщаному ґрунтах, які не містять великих коренів рослин, представників ґрунтової мезофауни можна відбирати з необхідної глибини або за горизонтами сталевим циліндричним буром висотою 25 см і діаметром 16 см (площа 0,02 м²).

Цей метод має один істотний недолік, який полягає в тому, що бур непридатний у лісі, де багато товстих коренів дерев, або на дуже щільних і щербенистих ґрунтах.

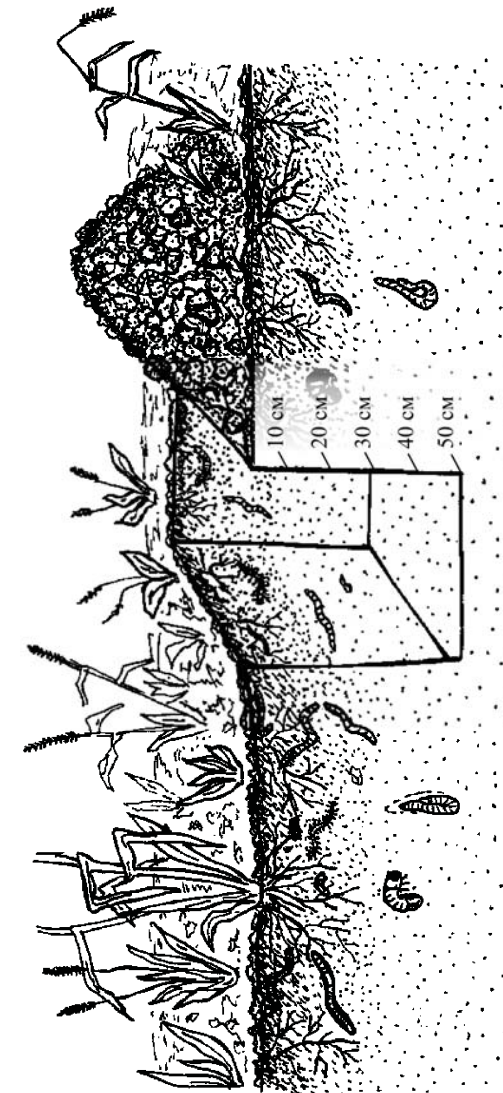


Рис. 3.3.1. Відбір представників мезофауни за ґрунтовими горизонтами в разі пошарової розкопки

Облік дощових черв'яків із використанням хімічних реагентів

Суть даного методу полягає в тому, що поверхню ґрунту (проби) поливають рідинами, що подразнюють покриви черв'яків. Наприклад, 0,5 %-й розчин формаліну дозволяє досить точно визначити схильних до діпаузи черв'яків на ділянках

із вологим і водопроникним ґрунтом. На пробу площею 0,5 м² виливають три рази по 10 л розчину формаліну. Цей метод хоча й ефективний для вивчення дощових черв'яків, представлених поверхневими і норними видами, однак для більшості ґрунтово-зоологічних досліджень він малоприматний, тому що потребує великої кількості рідини. Ця особливість обмежує його застосування в лісових екосистемах.

Обробка ґрунту насичено рожевим розчином марганцевокислого калію обумовлює вихід на поверхню видів черв'яків, які утворюють широкі постійні ходи, у той час як більшість ґрунтових форм будуть враховані не досить повно. Метод застосовують нечасто.

Метод промивання ґрунту на системі сит

Для нівелювання людського фактора, особливо властивого методу розкопок, коли не завжди помічають і витягають із ґрунту всіх тварин під час ручного розбирання, а також для підвищення точності результатів застосовують метод промивання ґрунту на системі сит з метою відбору з них тварин. Цей метод найбільш ефективний у стаціонарних умовах. Сита встановлюють одне над одним. Діаметр отворів верхнього – 3,5 мм, середнього – 1,5 мм, нижнього – 0,5 мм. Ґрунтову пробу розташовують на верхньому ситі й промивають струменем води. При цьому різні включення і тварини розподіляються по ситах залежно від своїх розмірів.

Даний метод не бажано застосовувати під час роботи з лісовими ґрунтами, у яких багато залишків рослин. Тварини прилипають до них, що ускладнює їх відокремлення і збільшує час розбирання проби.

Облік безхребетних тварин – мешканців підстилки із застосуванням пасток Барбера

Широкого застосування серед ґрунтових зоологів набув метод обліку безхребетних тварин, які живуть у підстилці, з використанням пасток Барбера¹. Цей метод дозволяє враховувати не реальну чисельність безхребетних тварин на обраній площі, а лише їх динамічну щільність. Для більшості екологічних досліджень не потрібне визначення реальної чисельності виду. Динамічна щільність сама по собі є достатньою характеристикою для вивчення, наприклад, добової, сезонної активності тварин тощо. Вона вища для представників більш рухливих форм тварин, оскільки ймовірність потрапляння до пастки малорухливих видів низька.

Технічна простота пасток, можливість їх застосування протягом тривалого періоду (до декількох місяців) забезпечили методу одне з провідних місць серед методик обліку безхребетних, які живуть у підстилці.

Пастка Барбера являє собою скляну банку ємністю 0,5 л (рис. 3.3.2). Не бажано використовувати металеві банки, оскільки їх стінки не гладкі й тварини, потрапивши в таку пастку, можуть вибратися з неї.

¹ Герберт Спенсер Барбер (*Herbert Spencer Barber*, 1882–1950) – американський зоолог-ентомолог, співробітник Національного музею (м. Вашингтон). Проводив дослідження комах у США, Мексиці та Гватемалі.

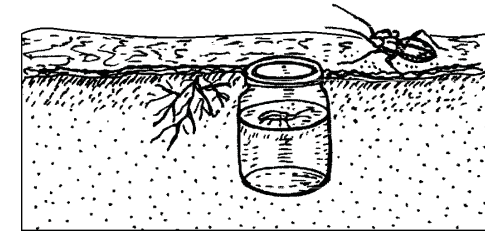


Рис. 3.3.2. Пастка Барбера

Посудини-пастки закопують у ґрунт таким чином, щоб їх краї знаходилися на рівні поверхні ґрунту, а іноді навіть трохи нижче. Ні в якому разі не можна допускати, щоб краї банки знаходилися вище поверхні ґрунту, оскільки рухливі безхребетні тварини будуть обігати її, а не падати в неї, що спотворить результати обліку.

Розміщувати банки на пробній площі можна або в лінію по трансекті, або рівномірно розподіляючи їх по ділянці. Якщо пробна ділянка має маленькі розміри, то пастки Барбера можна встановити у вигляді конверта – по одній банці в кутах прямокутника й одну в центрі. Кількість пасток залежить від цілей і завдань запланованого дослідження.

У ході обліку безхребетних можна використовувати пастки Барбера як із фіксуючим розчином, так і без нього. Фіксатор дозволяє попередити поїдання великими видами, зокрема великими хижаками, дрібних видів безхребетних, які потрапили в пастку. Наявність фіксатора дає також можливість вибирати тварин із пасток один раз на кілька днів або навіть тижнів. Але в той же час його використання негативно позначається на правильності екологічного обліку представників мезофауни. Так, реагуючи на вологу, гігрофільні види підстилкових безхребетних можуть приходити на пробну площу із сусідніх біогеоценозів, що знижує наукову цінність даних. Щоб якимось чином цього уникнути, одну половину пасток Барбера встановлюють із фіксатором, а іншу – без нього. Одержані результати усереднюють.

Як фіксатор найчастіше використовують 2–4 %-й розчин формаліну. Рекомендують також і суміш, що складається з 5 частин хлористого натрію NaCl, 1 частини селітри, 1 частини хлоральгідрату і 100 частин води. Фіксувальні властивості такої суміші зберігаються впродовж 6 місяців.

Щоб запобігти попаданню в пастки Барбера води під час і після дощу, а також щоб зменшити випаровування фіксатора, слід використовувати кришки у вигляді квадратних металевих пластинок, більших за розміром, ніж горлечко скляної банки. По кутах пластинки закріплюють ніжки, виготовлені з дроту, і занурюють їх у ґрунт над пасткою на необхідній висоті (рис. 3.3.3). З метою підвищення уловистості пасток Барбера використовують перетинки з твердого матеріалу (пластмаси, скла тощо), які частково заглиблюють у ґрунт (рис. 3.3.4).

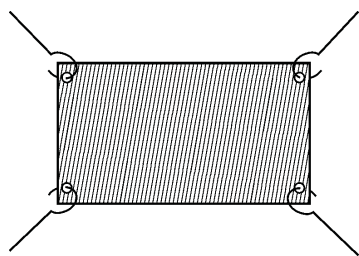


Рис. 3.3.3. Конструкція металевої кришки, яку розташують над пасткою Барбера

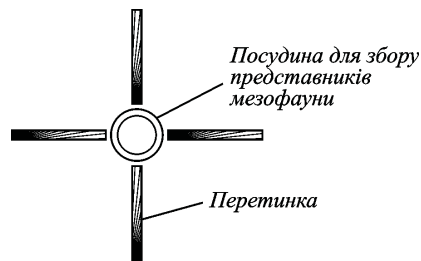


Рис. 3.3.4. Перетинки навколо пастки Барбера (вигляд зверху)

У процесі фауністичних досліджень у пастку Барбера можна поміщати принади. Використання принад збільшує відносність обліку, оскільки їх запах діє неоднаково на різні групи безхребетних тварин. Так, запах гниючого м'яса приваблює мертвоїдів і в той же час відлякує багатьох інших представників мезофауни.

Динамічну щільність зібраних безхребетних розраховують у кількості екземплярів тварин, які потрапили в пастку за добу (екз./паст.-доб.). Кількість пасткодіб відповідає кількості днів, коли стояли пастки. Тварин із пасток поміщають у посудину з етикеткою і фіксують у 4 %-му розчині формаліну або в 70 %-му етиловому спирті з додаванням краплі гліцерину. Дані обліку записують у польовий журнал.

Для визначення співвідношення між кількістю тварин, зібраних із пасток Барбера і тих, які реально живуть на досліджуваних ділянках, існує три основні способи:

- 1) порівняння даних, одержаних із використанням пасток Барбера, із даними реальної чисельності тварин (ручне розбирання підстилки або просівання її через сито);
- 2) застосування методу вичерпання;
- 3) застосування методу мічення тварин.

Суть методу вичерпання полягає в ряді послідовних виловів безхребетних на площах, ізольованих від впливу на них тварин із навколишніх біогеоценозів. Про реальне число особин на досліджуваній площі судять за зменшенням чисельності представників мезофауни порівняно з неізолюваною ділянкою.

Метод мічення таких великих безхребетних, як туруни, мертвоїди та інші, полягає в нанесенні на їх надкрила міток яскравим лаком. Іноді в комах просто видаляють частину надкрил за умови, що це не зашкодить тварині. Метод мічення менш трудомісткий, ніж метод вичерпання і дозволяє застосовувати дані середньої чисельності тварин. Мічених безхребетних можна випускати як до початку проведення дослідження, так і в процесі нього. Чисельність особин визначають за формулою

$$N = nM / (mS),$$

де N – кількість особин на ділянці, екз.;

n – кількість пійманих тварин у ході контрольних обліків немічених особин, екз.;

M – загальна кількість мічених особин, екз.;

m – число пійманих особин, екз.;

S – площа досліджуваної ділянки, м².

Методи мічення й вичерпання постійно вдосконалюють і тому бажано, щоб дослідження представників мезофауни, які живуть у верхньому ґрунтовому горизонті – підстилці, мали комплексний характер.

3.4. МЕТОДИ ФІКСАЦІЇ ТВАРИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Більша частина безхребетних, які мешкають у ґрунті, може бути ідентифікована лише після їх фіксації, і тільки для енхитреїд і молосків розроблені методи прижиттєвого визначення. Тому спосіб фіксації важливий як для визначення матеріалу, так і для його збереження в колекціях.

Для фіксації представників мезофауни й мікроартропод найбільш широко використовують 70–80 %-й етиловий спирт й 4 %-й розчин формаліну. Їх розводять дистильованою, дощовою або кілька разів прокип'яченою водою.

Під час тривалого зберігання в спирті або формаліні тварини втрачають пружність покривів і розм'якшуються або зморщуються, стають крихкими й ламаються. У таких випадках їх ідентифікація або використання для більш тонких морфологічних досліджень стають неможливими. Тому для окремих груп ґрунтових безхребетних розроблені методи фіксації з урахуванням особливостей покривів і структури тварин і рекомендовані різні фіксувальні суміші на основі розчинів спирту або формаліну.

Личинок комах із сильно склеротизованими покривами, таких як дротянки й псевдодротянки, а також літобіди, фіксують 70 %-м розчином спирту з додаванням гліцерину (2–3 краплі). Гліцерин сприяє збереженню еластичності покривів. Через 2–3 тижні матеріал переносять у чистий 70 %-й розчин спирту, в якому він зберігається роками.

У разі фіксації личинок комах із більш м'якими покривами (м'якотілок, турунів) рекомендують додавати в спирт певну кількість формаліну, щоб запобігти мацерації покривів тварин. Для тривалого зберігання цих личинок необхідно через декілька тижнів перенести їх у спирт.

Великі личинки з білими м'якими покривами (пластинчастовусих, довгоносиків, багатьох двокрилих) у спирті або формаліні темніють і втрачають свою форму внаслідок мікробіальних та автолітичних процесів, що розвиваються в личинці після фіксації, поки фіксатор не просочиться в усі внутрішні органи. Тому їх рекомендують фіксувати окропом. Личинок заливають киплячою водою, а після того, як вони спливають, поміщають у спирт. Під час обварювання окропом відбувається згортання білків, що сприяє збереженню форми тіла та забарвлення покривів. Великих личинок варто проварити в окропі 2–3 хв. При цьому потрібно

стежити, щоб поверхня води, у якій варяться личинки, була спокійною. У випадку бурхливого кипіння пухирці повітря, що виділяються із тканин тварин, можуть деформувати їх тіла. У результаті обварювання окропом у м'яких личинок розправляються покриви і на них стають помітними різні структури, які важко виявити на живих або зафіксованих іншими способами тваринах. Після фіксації окропом личинок рекомендують деякий час тримати в 70 %-му розчині спирту з домішкою 4 %-го розчину формаліну, а потім уже переносити в чистий 70 %-й розчин етилового спирту.

Дошових черв'яків фіксують слабким розчином формаліну, у якому вони спочатку дуже активно рухаються, звиваються, а потім гинуть у скрученому стані. Відразу після того як тварини перестануть рухатися в розчині, їх треба вийняти, розправити на фільтрувальному папері й ваткою стерти слиз. Через кілька хвилин, коли черв'яки трохи підсохнуть і зафіксуються в розправленому вигляді, їх поміщають у довгі хімічні пробірки з 4 %-м розчином формаліну, у якому вони довго зберігають форму тіла й придатні для використання в ході морфологічних досліджень.

Під час фіксації та зберігання в 4 %-му розчині формаліну змінюється маса дошових черв'яків, оскільки в такому випадку вони виділяють значну кількість слизу й порожнинної рідини. Порівняння маси живих черв'яків і безпосередньо після фіксації показало, що маса фіксованих черв'яків становила 84,5 % від маси живих, тобто втрата дорівнювала 15,5 %. Потім маса трохи збільшилася і через одну годину після фіксації становила 90 % від живої.

Біомасу дошових черв'яків можна визначити за фіксованим матеріалом. Для цього необхідно збільшити масу фіксованих тварин на 10 %, щоб одержати величину їх живої ваги. Масу черв'яків через добу після фіксації можна вважати постійною, оскільки вона не змінюється під час зберігання тварин.

Мермітид фіксують у 40 %-му етиловому спирті, у 3–4 %-му розчині формаліну чи в спеціальній суміші – рідині Барбагалла: 100 мл дистильованої води; 30 мл 40 %-го формаліну; 80 г хлористого натрію. Ця суміш являє собою ізотонічний розчин, у якому мермітиди зберігають еластичність покривів і забарвлення. У ґрунті ці черв'яки мають сильно скручений вигляд. Тому перед фіксацією їх необхідно розправляти. Цю процедуру здійснюють у воді під час нагрівання її до 40 °С. До води іноді додають 1 %-й розчин хлоральгідрату. При цьому м'язи черв'яків розслаблюються і тварини розпрямляються. Процес розтягування триває близько 1 год. У скручених черв'яків покриви твердіють і стають крихкими. Якщо вони були зафіксовані в нерозправленому вигляді, їх треба розтягувати в суміші 35–50 %-го спирту з молочною кислотою у відношенні 1 : 1 протягом 18–24 год. Потім тварин відмивають від молочної кислоти спиртом.

Реагенти

- 4 %-й розчин формаліну: 1 частку 40 %-го формаліну змішують із 9 частками дистильованої води.
- 70 %-й розчин етилового спирту: 70 мл 96 %-го спирту змішують із 26 мл дистильованої води.

Виготовлення 1 л розчину: до 730 мл 96 %-го етанолу додають 270 мл дистильованої води, перемішують.

- 40 %-й розчин етилового спирту: 40 мл 96 %-го спирту змішують із 56 мл дистильованої води (співвідношення *спирт – вода* – 5 : 7).
- Гліцерин.
- Хлористий натрій NaCl, х. ч.
- Хлоральгідрат (безбарвні кристали), 1 %-й розчин: 1 г реактиву в 100 мл розчину.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 3

- Аналіз структури популяцій [Текст]: навч. посіб. / В. С. Шебанін, С. І. Мельник, С. С. Крамаренко, В. М. Ганганов. – Миколаїв: МДАУ, 2008. – 240 с.
- Гиляров, М. С. Зоологический метод диагностики почв [Текст] / М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1965. – 276 с.
- Количественные методы в почвенной зоологии / Ю. Б. Бызова [и др.]. – М.: Наука, 1987. – 289 с.
- Методы почвенно-зоологических исследований [Текст] / отв. ред. М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1975. – 280 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии [Текст] / Д. Г. Звягинцев, И. В. Асеева, И. П. Бабьева, Т. Г. Мирчик. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 224 с.

РОЗДІЛ 4 ЛАБОРАТОРНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ЯК СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ ТВАРИН

4.1. ВІДБІР ПРОБ І ПІДГОТОВКА ҐРУНТУ ДО ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ

4.1.1. Морфологічна характеристика ґрунтового профілю

У результаті дії ґрунтоутворювальних факторів і процесів гірська порода перетворюється на нове природне тіло – ґрунт. При цьому вихідна порода диференціюється на шари – генетичні горизонти, і ґрунт набуває цілої низки нових властивостей і морфологічних ознак. Сукупність генетичних горизонтів являє собою ґрунтовий профіль. Морфологічно навіть у ході зародження ґрунту утворюється тільки один акумулятивний горизонт. Але з часом у процесі подальшого розвитку ґрунту в ньому можуть додатково формуватися нові горизонти. У розвинутому ґрунтовому профілі зазвичай утворюється декілька основних (від одного до 5–6) генетичних горизонтів.

Щоб мати повне та правильне уявлення про генетичні та агрономічні особливості ґрунту, потрібно поєднувати хімічні, фізичні та біологічні властивості ґрунтів з описами їх морфологічних ознак.

До головних морфологічних ознак належать: будова ґрунтового профілю, потужність окремих горизонтів, забарвлення, гранулометричний склад, новоутворення. У ґрунтовому профілі виділяють різні горизонти, кожен із яких має своє позначення (індекс) і може поділятися на підгоризонти. Найчастіше розрізняють такі горизонти (за Соколовським):

H_0 – підстилка. На поверхні цілинних та неорних ґрунтів залягає горизонт органічних решток, змішаних із мінеральними частинками.

H_d – дернинний горизонт наполовину або й більше складається з живих і відмерлих коренів трав'янистих рослин, що утворюють дернину.

H – гумусово-акумулятивний горизонт. Формується у верхній частині ґрунтового профілю. У ньому зосереджена більша частина гумусу, органічної та поживних речовин. Горизонт має темніше забарвлення порівняно з тими, які лежать нижче.

E – елювіальний горизонт (щодо колоїдів). У процесі ґрунтоутворення з нього виносяться ряд речовин у нижчі горизонти. Бідний на глинисті мінерали, збага-

чений кремнеземом. У різних типах ґрунту має різне найменування (підзолистий – у підзолах, осолоділий – у солодах).

I – ілювіальний горизонт (щодо колоїдів). У ньому частково відкладаються речовини, вимиті з вищерозташованих горизонтів або принесені потоком вод. Залежно від складу цих продуктів у ілювіальному горизонті можуть накопичуватись гумус, мул, сполуки заліза, карбонати.

Gl – глейовий горизонт. Утворюється у гідроморфних ґрунтах за умов постійного або періодичного зволоження. Горизонт має сизуваті та вохристі плями, що є результатом чергування анаеробних та аеробних процесів у профілі ґрунту.

P – материнська порода. Горизонт, що знаходиться за межами впливу ґрунтоутвірних процесів.

До додаткових належать окремі морфологічні елементи ґрунту, деякі з яких наведені нижче:

k – карбонати;

s – легкорозчинні солі та гіпс;

kn – карбонатні конкреції;

z – копроліти, червороїни, кротовини;

a – орний горизонт;

ag – насипний (рекультивований) горизонт.

Для ґрунтів території міст застосовують інші назви горизонтів та індекси їх градацій, що можна знайти в роботах М. М. Строганової та М. Г. Агаркової (Росія), О. В. Мірзак (Україна) та ін.

Біологічні елементи в ґрунті – це корені живих та відмерлих рослин, тварин та їх залишки, а також морфологічні елементи, пов'язані з життєдіяльністю рослин та тварин. Із зоогенних елементів у ґрунті найчастіше наявні залишки тварин: кістки, черепашки, пір'я, шкаралупа тощо. Найпоширеніші морфологічні елементи, пов'язані з життєдіяльністю рослин і тварин: кореневі пори, екскременти (копроліти) дощових черв'яків та личинок комах, структурні грудочки від мурах, червороїни, кротовини тощо. Описуючі ці морфологічні елементи, необхідно вказати їх наявність і кількість за двома градаціями: мало (1–5 шт. на 1 дм²), багато (понад 5 шт. на 1 дм²).

4.1.2. Завдання та методи дослідження ґрунтів

У 1964 р. була видана Загальносоюзна інструкція, згідно з якою для різних ґрунтів набір аналізів був установлений у таких списках.

Кислі ґрунти – підзолисті, сірі лісові, бурі лісові, болотно-підзолисті

1. Гігроскопічна вода.
2. Механічний склад за Качинським.
3. Валовий вміст гумусу за методом Тюріна.
4. Валовий вміст нітрогену за К'ельдалем.
5. pH водної та сольової суспензій потенціометрично зі скляним електродом.

6. Поглинуті основи (Ca^{2+} , Mg^{2+}) за Гедройцем із застосуванням комплексону III.
7. Поглинутий гідроген (H^+) за Гедройцем.
8. Гідролітична кислотність за Каппенем.
9. Обмінна кислотність за Соколовим.

Нейтральні ґрунти – чорноземи, каштанові, коричневі

1. Гігроскопічна волога.
2. Механічний склад за Качинським (у карбонатних ґрунтах підготовку здійснюють із використанням пірофосфату натрію).
3. Валовий вміст гумусу за методом Тюріна.
4. Валовий вміст нітрогену за К'ельдалем.
5. *pH* водної суспензії потенціометрично зі скляним електродом, у некарбонатних ґрунтах також *pH* сольової суспензії.
6. Поглинуті основи (Ca^{2+} , Mg^{2+}) за Гедройцем із застосуванням комплексону III у некарбонатних ґрунтах.
7. У карбонатних ґрунтах – ємність поглинання за Бобко та Аскіназі в модифікації Грабарова та Уварової.
8. Поглинутий натрій за Гедройцем або витісненням вуглекислим амонієм (у разі солонцюватості ґрунту) із кінцевим визначенням натрію полуменевим фотометром.
9. CO_2 карбонатів за Гейслером–Максим'юк.
10. Скорочена водна витяжка з визначенням щільного залишку, CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} (за наявності засолення).

Солонці та солончаки

1. Гігроскопічна волога.
2. Механічний склад за Качинським (у карбонатних ґрунтах підготовку здійснюють із використанням пірофосфату натрію).
3. Валовий вміст гумусу за методом Тюріна (у випадку хлоридного засолення з попереднім відмиванням солей).
4. *pH* водної суспензії потенціометрично зі скляним електродом.
5. Водна витяжка з визначенням щільного залишку, CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .
6. Поглинутий натрій за Гедройцем чи витісненням вуглекислим амонієм із кінцевим визначенням натрію полуменевим фотометром.
7. Ємність поглинання за Бобко та Аскіназі в модифікації Грабарова та Уварової.
8. Вміст гіпсу.
9. CO_2 карбонатів за Гейслером–Максим'юк.

Торф'яні ґрунти, перегнійно-торф'яні горизонти інших ґрунтів

1. Гігроскопічна волога.
2. Валовий вміст нітрогену за К'ельдалем.

3. *pH* водної та сольової суспензії потенціометрично зі скляним електродом.
4. Гідролітична кислотність за Каппенем.
5. Обмінна кислотність за Соколовим.
6. Втрати під час прожарювання і аналіз золи з визначенням CaO , K_2O , P_2O_5 .

У всіх досліджуваних ґрунтах для характеристики корененасиченого шару визначають рухомі форми поживних речовин за такими методами. Рухомі фосфати в підзолистих, дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтах встановлюють за Кірсановим; у чорноземах – за Чиріковим або Труоргом; у карбонатних ґрунтах (сіроземах, каштанових, бурих) – за Мачигіним; у червоноземах та жовтоземах – за Арреніусом у модифікації Гінзбург.

Обмінний калій визначають у підзолистих, дерново-підзолистих, сірих лісових і некарбонатних ґрунтах за методом Маслової. Часто рухомі форми сполук фосфору та калію встановлюють в одній витяжці, якщо це витяжки, одержані за методами Кірсанова, Чирікова та Мачигіна.

Під час дослідження генезису ґрунтів додатково до названих аналізів проводять також валовий аналіз мінеральної частини ґрунтів і визначають груповий та фракційний склад гумусу.

4.1.3. Підготовка ґрунту до фізико-хімічного аналізу

Для проведення аналізу використовують повітряно-сухі зразки ґрунту. Якщо ґрунт вологий, його швидко висушують у провітрюваному та вільному від лабораторних газів приміщенні. Зразок висушеного ґрунту вагою приблизно 600–750 г розташовують на аркуші чистого пергаментного або обгорткового паперу і видаляють із нього корені, включення та новоутворення. Великі грудки розминають руками або подрібнюють у ступці товкачиком до невеликих шматочків, діаметром приблизно 5–7 мм. Відбирають середню пробу. Для цього перетертий зразок розкладають тонким шаром у вигляді квадрата і ділять навхрест на 4 частини. Ґрунт беруть із протилежних сторін.

Для проби на визначення гумусу та нітрогену потрібно 5–10 г ґрунту. Його розкладають на папір, ретельно відбирають корінці та включення пінцетом, подрібнюючи товкачиком грудочки. Якщо в пробі багато корінців, для їх усунення використовують наелектризовану скляну паличку. Після відбору корінців пробу просіюють через сито з отворами діаметром 0,25 мм, що дозволяє одержати однорідний зразок. Те, що залишається на ситі, знов подрібнюють у ступці та просіюють.

Щоб приготувати витяжку, пробу ґрунту просіюють через решето з отворами діаметром 1 мм. Просіяний ґрунт зберігають у скляних банках з етикетками, паперових пакетах, картонних коробках. Перед відбиранням наважки зразок ґрунту ретельно перемішують.

4.2. ВОЛОГІСТЬ ҐРУНТУ

Вологість ґрунту є його важливою фізичною властивістю, що обумовлює формування гідротермічного режиму – основи всіх біохімічних ґрунтових процесів. Також вона дає можливість існувати в ґрунті водним формам, які дихають розчиненим у воді киснем, і тваринам, які не мають захисту від випаровування води через покриви тіла. Вологість ґрунту забезпечує доступність поживних речовин. Щільність ґрунтового субстрату затримує випаровування вологи та знижує амплітуду добових і сезонних коливань.

Вміст води в ґрунті коливається в межах від сильного висушування (*фізіологічної сухості*) до повного насичення й перезволоження. Кількість води в ґрунті, виражену у вагових або об'ємних відсотках до абсолютно сухого ґрунту, називають вологістю ґрунту. Знаючи вологість, неважко визначити запас ґрунтової вологи. Один і той самий ґрунт може бути неоднаково зволожений на різних глибинах і в окремих ділянках ґрунтового профілю. Кожен тип ґрунту має свою динаміку вологості, що змінюється за генетичними горизонтами. Вологість ґрунту залежить від його фізичних властивостей (водопроникності, вологості, капілярності, питомої поверхні), а також від умов зволоження (кількості опадів, рівня підґрунтових вод).

Розрізняють абсолютну та відносну вологість. Абсолютна характеризує валову (загальну) кількість вологи в ґрунті в конкретній точці в певний момент. Її виражають у процентах від маси чи об'єму ґрунту.

Вміст вологи в представниках ґрунтових безхребетних коливається в достатньо вузькому діапазоні – від 65 до 75 %. Саме таке співвідношення є оптимальним для організмів суші. Тільки в найпростіших воно перебільшує цей рівень і сягає 92 % від сирової маси тіла, а в імаго комах і кліщів, хітинові покриви яких займають майже до 40 % сирової маси тіла й практично не зв'язують воду, вміст вологи часто становить нижче 50 %. У дощових черв'яків жива маса варіює залежно від обводненості середовища і змінюється за сезонами. Види, які існують у посушливих умовах, мають ряд пристосувань, що перешкоджають виведенню води з організму. Імовірно тому вміст води в тілі, наприклад, пустельних мокриць більший, ніж у мокриць гумідних ландшафтів.

4.2.1. Польова вологість

За загальною кількістю води в ґрунті не можна судити про ступінь забезпеченості нею рослин, оскільки не вся вода з ґрунту може поступати до них.

Визначення польової вологості ґрунту

1. Алюмінієві стакани (бюкси) з кришкою, завчасно зважені на технічних вагах із точністю до 0,01 г (m_1), наповнюють до 1/3 їх частини *сирим ґрунтом*. Закриті кришками бюкси зважують (m_2).

2. Зважені бюкси зі знятими кришками, які надають на їх дно, із сирим ґрунтом ставлять до сушильної шафи із температурою 100–105 °С на 6 год. Ґрунт висушують до постійної маси.

3. Після просушування бюкс охолоджують в ексикаторі з водовіднімаючою речовиною – свіжопрожареним порошком хлориду кальцію (CaCl_2) на дні та зважують (m_3).

Польову вологість ґрунту розраховують за формулою

$$W = \frac{a}{b} 100 = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} 100,$$

де W – польова вологість, %;

a – маса вологи, що випарувалася, г;

b – маса абсолютно сухого ґрунту, г;

m_1 – маса бюкса з кришкою, г;

m_2 – маса бюкса з кришкою із сирим ґрунтом, г;

m_3 – маса бюкса з кришкою з абсолютно сухим ґрунтом, г.

Коефіцієнт перерахунку результатів аналізу вологого ґрунту на абсолютно сухий обчислюють таким чином:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{100 + W}{100}.$$

4.2.2. Гігроскопічна вологість

Здатність ґрунту сорбувати пароподібну воду називають його гігроскопічністю. Повітряно-сухий ґрунт містить вологу, яка може бути видалена висушуванням за умов більш високої температури, ніж температура повітря. Вологу, яку видаляють із повітряно-сухого ґрунту за температури 100–105 °С, називають гігроскопічною. Така міцнозв'язана волога утворюється в результаті сорбції пари води на поверхні твердих часток ґрунту і безпосередньо прилягає до них у вигляді плівки з двох–трьох орієнтованих шарів молекул води. *Гігроскопічна вода* в ґрунті утримується дуже міцно, цілком *недоступна для рослин*, відрізняється за властивостями від вільної води, яку легко можуть поглинати рослини.

У результаті висушування за температури 100–105 °С ґрунт крім гігроскопічної води втрачає адсорбовані гази (CO_2 , NH_3 тощо) і частину гідратної води. Наприклад, гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ починає виділяти гідратну воду за температури 65–70 °С. Ця вода входить у величину зменшення ваги внаслідок висушування, тому результати визначення гігроскопічної води в гіпсоносних горизонтах трохи завищені. Гігроскопічну вологу для гіпсу встановлюють висушуванням зразка ґрунту за температури 60–65 °С із подальшим перерахунком на втрату води. Це здійснюють за допомогою множення на умовний емпіричний коефіцієнт, прийнятий сталим для всіх ґрунтів – 1,23. У заболочених і болотних ґрунтах кількість гігроскопічної води може бути занижена за рахунок окиснення закисного заліза й інших недоокиснених сполук.

Визначення гігроскопічної вологості ґрунту

1. У зважені алюмінієві бюкси з кришкою (m_1) поміщають наважку *повітряно-сухого ґрунту*. Для суглинистих ґрунтів беруть 5–10 г, для піщаних – 10–15 г. Відкриті бюкси з кришками та ґрунтом зважують (m_2).

2. Зважені бюкси з повітряно-сухим ґрунтом ставлять до сушильної шафи із температурою 100–105 °С на 5 год. Висушують до сталої ваги.

3. Після просушування бюкси закривають кришками й охолоджують в ексикаторі з порошком CaCl₂ на дні, знову зважують (m_3).

Гігроскопічну вологість ґрунту розраховують за формулою

$$h = \frac{a}{b} 100 = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} 100 ,$$

де h – гігроскопічна вологість (або масова частка гігроскопічної вологи), %;

a – маса вологи, що випарувалася, г;

b – маса абсолютно сухого ґрунту, г;

m_1 – маса бюкса з кришкою, г;

m_2 – маса бюкса з кришкою з ґрунтом до висушування, г;

m_3 – маса бюкса з кришкою з ґрунтом після висушування, г.

Коефіцієнт перерахунку результатів аналізу повітряно-сухого ґрунту на абсолютно сухий обчислюють таким чином:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{100 + h}{100} .$$

У даних розрахунках волога становить не частку від ваги вихідної речовини, а кількість води, поглиненої 100 г абсолютно сухого ґрунту. На отриманий коефіцієнт треба помножити всі результати аналізів, проведених із даною пробою. Наприклад, якщо гігроскопічна вологість ґрунту становить 7,8 %, тоді

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{100 + 7,8}{100} = 1,08 .$$

4.2.3. Максимальна гігроскопічна вологість

Найбільша кількість вологи, яка може бути поглинута ґрунтом із повітря, насиченого водяною парою, називається *максимальною гігроскопічною вологістю*.

Воду за областю притягання з боку ґрунтових часток називають *вільною*: вона повністю доступна рослинам і легко переміщується в ґрунті під впливом сили ваги або капілярних сил. Умовно вважають, що кількість ґрунтової вологи, недоступної рослинам, дорівнює подвійній максимальній гігроскопічній волозі. Тобто, якщо вміст води в ґрунті виявиться нижчий подвійної максимальної гігроскопічної вологи, то рослина із цього ґрунту поглинути воду вже не може. Ґрунтову вологу, недоступну рослинам, іноді називають *мертвим запасом* вологи, величина якого залежить від механічного складу ґрунту.

За вмістом максимальної гігроскопічної вологи можна судити про глинистість ґрунту та розміри його поверхневої енергії. Так, для пісків максимальна гігроскопічність становить декілька десятків частки відсотка до маси ґрунту. У суглинках ця величина зростає до 3–8 %, у важких глинах – до 10–15 %, у торфах – до 20 % і більше.

Визначення максимальної гігроскопічної вологості ґрунту

1. У висушений і зважений на аналітичних вагах бюкс (m_1) відбирають 10 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито з отворами 1 мм.

2. Відкриті бюкси з ґрунтом ставлять в ексикатор, на дно якого наливають насичений розчин сірчаноокислого калію K₂SO₄ (або 10 %-й розчин H₂SO₄). Ексикатор щільно закривають кришкою і ставлять у темне місце з найменшими коливаннями температури.

Для приготування 100 мл розчину K₂SO₄ (або H₂SO₄) потрібно 11–15 г K₂SO₄ (або 6,1 мл концентрованої H₂SO₄). Насичений розчин цієї солі створює відносну вологість повітря в ексикаторі 98–99 %.

3. Через 3–4 дні бюкси виймають із ексикатора, закривають кришками, зважують і знову ставлять в ексикатор.

4. Наступні зважування проводять через кожні 2–3 дні до моменту, поки два останні зважування будуть відрізнятися не більше, ніж на тисячні частки грама (m_2).

5. По досягненні максимального насичення ґрунту пароподібною вологою бюкси з ґрунтом сушать у сушильній шафі за температури 100–105 °С протягом 5 год (до постійної маси).

6. Після просушування бюкси охолоджують у сухому ексикаторі з порошком CaCl₂ на дні та зважують (m_3).

Максимальну гігроскопічну вологість ґрунту обчислюють за формулою

$$W = \frac{a}{b} 100 = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} 100 ,$$

де W – максимальна гігроскопічна вологість, %;

a – маса вологи, що випарувалася, г;

b – маса абсолютно сухого ґрунту, г;

m_1 – маса бюкса з кришкою, г;

m_2 – маса бюкса з кришкою з ґрунтом після насичення (до висушування), г;

m_3 – маса бюкса з кришкою з ґрунтом після висушування, г.

4.2.4. Повна вологоємність ґрунту

Повна вологоємність ґрунту відповідає такому вмісту вологи, коли всі його пори насичені водою. Повна вологоємність, яку визначають у трубках, завжди трохи менша загальної порізності, тому що під час занурення у воду зразка ґрунту в ньому зберігається близько 8 % затисненого повітря.

Хід роботи

1. Повну вологості ґрунту з порушеною будовою визначають у металевих циліндрах із сітчастим дном або в скляних трубках, обв'язаних з одного кінця марлею. Діаметр трубки 5–6 см, висота 15–18 см. На сітчасте дно кладуть кружок фільтрувального паперу і змочують його водою. Після стікання надлишку води зважують трубку на технічних терезах із точністю 0,05 г.

2. Циліндр наповнюють на 3/4 висоти просіяним через грохот ґрунтом. Ґрунт вносять невеликими порціями й ущільнюють його постукуванням трубки або обережним вдавлюванням, домагаючись того ж ущільнення, що прийнято для посудин вегетаційного досліджу. Водночас беруть пробу для визначення вологості вихідного ґрунту.

3. Після наповнення ґрунтом циліндр зважують і за різницею між масою циліндра із ґрунтом (m_1) і порожнім циліндром зі зволоженою обв'язкою (m_0) визначають наважку вихідного повітряно-сухого ґрунту. Окремо розраховують коефіцієнт перерахунку маси повітряно-сухого ґрунту на абсолютно сухий (K_{H_2O}). Знаючи вологість ґрунту, обчислюють масу абсолютно сухого ґрунту в циліндрі.

4. Циліндр із ґрунтом прикривають зверху склом, ставлять у посудину з водою, доводять її рівень до рівня ґрунту в циліндрі й залишають на добу. Через добу виймають циліндр із води, обтирають фільтрувальним папером і зважують (m_2). Ще через добу повторюють зважування. У разі одержання близьких даних насичення припиняють.

Вологості виражають у вагових або об'ємних відсотках. Щоб перерахувати вагові дані на об'ємні, треба перші помножити на об'ємну вагу. Відношення маси поглинутої води до маси абсолютно сухого ґрунту визначає повну вологості (у вагових відсотках на абсолютно сухий ґрунт), яку розраховують за рівнянням

$$ПВ, \% = \frac{m_2 - (m_1 - m_0)}{(m_1 - m_0) K_{H_2O}} 100 ,$$

де m_0 – маса циліндра зі зволоженою обв'язкою;

m_1 – маса циліндра з повітряно-сухим ґрунтом;

m_2 – маса циліндра з ґрунтом після насичення;

K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

**4.3. ПОНЯТТЯ ПРО БІОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ ҐРУНТУ.
НАЙПРОСТІШІ МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ**

Для оцінки діяльності ґрунтової біоти застосовують таку характеристику, як біологічна активність ґрунту. Під біологічною активністю розуміють в одних випадках загальну біогенність ґрунту, яку визначають, як правило, підрахунком загальної кількості ґрунтових мікроорганізмів, в інших – облік результатів діяльності ґрунтових організмів.

Відомо, що найбільш суттєве значення для активності ґрунтової біоти має кисень і діоксид карбону, оскільки їх надлишок або нестача позначається на фізіологічних процесах живих організмів. Що стосується діоксиду карбону, то його основна маса в ґрунтовому повітрі являє собою кінцевий продукт гетерогенного метаболізму органічної речовини. Він бере участь у становленні активної кислотності ґрунтового розчину, а також у трансформації первинних і вторинних мінералів, окисно-відновлювальних процесах у ґрунті.

Найпростіші показники діяльності ґрунтових організмів, які можна визначити польовими методами, – це продукування ними діоксиду карбону та інтенсивність руйнування клітковини. Інтенсивність потоку CO_2 з поверхні ґрунту (*дихання ґрунту*) можна розглядати як одну з характеристик ґрунтового “здоров'я”. Тому облік виділюваного ґрунтом вуглекислого газу – першорядний біохімічний спосіб визначення біологічної активності ґрунту. Вона обумовлена функціонуванням ґрунтових мікроорганізмів, впливом грибів, рослин, тварин і здатна змінювати екологічні функції ґрунту, підсилюючи або послаблюючи їх. Приблизні розрахунки Ю. Б. Бизової (2007) показали, що дихання ґрунтових безхребетних порівнянні з диханням кореневої маси рослин.

Аплікаційний метод визначення біологічної активності ґрунту за інтенсивністю розкладання клітковини також дає певні уявлення про біотичні процеси, що відбуваються в ньому.

**4.3.1. Визначення інтенсивності розкладання клітковини
(за Міщустиним, Востровим, Петровою)****Хід роботи**

1. Лопатою викопують ґрунтовий розріз глибиною 55–60 см, одна зі стінок якого має бути якомога рівнішою.

2. До рівної стінки розрізу прикладають скельце (10×50 см), обшите (або обгорнуте) лляним полотном (попередньо прокип'яченим та відполосканим у воді від крохмалю).

3. Розріз засипають ґрунтом із протилежної сторони від скельця так, щоб воно було щільно притулене до стінки. Верхній край скла на 2–3 см повинен виступати над поверхнею ґрунту. Місце закопування маркують (наприклад, позначають металевим прутком).

4. Експозиція триває від 14 до 30 днів залежно від активності руйнування тканини.

Для визначення терміну експозиції у ґрунт закопують 2–3 запасних скельця з полотном і, відкопуючи їх, судять про час закінчення експозиції.

5. По завершенні експозиції скельця відкопують, підсушують полотно й обережно обтрушують з нього ґрунтові частки.

6. Для встановлення ступеня розкладання полотна з нього вирізають шматочок певної площі на глибині шару 0–40 см, промивають його водою, висушують і зважують (дослідний зразок). Такий самий шматочок вирізають із полотна, яке не знаходилося в ґрунті (контрольний зразок).

Ступінь розкладання полотна (у відсотках) обчислюють за формулою

$$\frac{m_{\text{контр.}} - m_{\text{дослід.}}}{m_{\text{контр.}}} \cdot 100,$$

де $m_{\text{контр}}$ – маса контрольного зразка;

$m_{\text{дослід}}$ – маса дослідного зразка.

Автори наведеної методики пропонують таку шкалу інтенсивності розкладання клітковини (%) за вегетаційний сезон:

дуже слабка	< 10;
слабка	10–30;
середня	30–50;
сильна	50–80;
дуже сильна	> 80.

4.3.2. Польовий адсорбційний метод визначення дихання ґрунту, або емісії CO₂ (за Карпачевським)

Швидкість виділення CO₂ з ґрунту – це показник, який застосовують для характеристики його біологічної активності й процесів перетворення органічної речовини. Найбільш простий метод її визначення – адсорбційний. Він заснований на поглинанні CO₂, що дифузно виділяється з ґрунту, розчином луґу, який розміщують на поверхні ґрунту й накривають посудиною-ізолятором.

Хід роботи

1. У скляні стаканчики місткістю 50–100 мл, діаметром 4–6 см точно виміряним мікрометром для розрахунку площі поверхні рідини наливають 2 мл розчину КОН (або NaOH) з еквівалентною концентрацією 0,1 моль/л.

2. Стаканчики розносять по досліджуваних об'єктах і ставлять на поверхню ґрунту. Відмічають час початку дослід.

3. Через 20 хв стаканчики знімають, титрують за фенолфталеїном розчином H₂SO₄ з еквівалентною концентрацією 0,05–0,1 моль/л до знебарвлення.

4. Стаканчики споліскують дистильованою водою і повторюють дослід.

5. Перед тим як підійде час титрування експонованих стаканчиків, проводять контрольне титрування 2 мл луґу (холостий дослід).

6. Виділений з ґрунту CO₂ розраховують за формулою

$$y = \frac{(V_{\text{хол.}} - V_{\text{досл.}}) C_{\text{екв}} \cdot 11 \cdot 10^4 \cdot 60}{S \cdot 1000 t},$$

де y – вміст CO₂ (г/год·м²);

$(V_{\text{хол.}} - V_{\text{досл.}})$ – різниця між об'ємами розчинів кислоти, які пішли на титрування відповідно холостої і дослідної (аналізованої) проб, мл;

$C_{\text{екв}}$ – молярна концентрація еквівалента сульфатної кислоти, моль/л;

11 – молярна маса еквівалента CO₂, г/моль;

10⁴ – коефіцієнт перерахунку площі ізолятора на 1 м²;

S – площа посудини-ізолятора, см²;

60 – коефіцієнт перерахунку часу експозиції на 1 год;

t – час експозиції, хв;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму H₂SO₄ (мл) на літри.

Реагенти

- Розчин H₂SO₄ з еквівалентною концентрацією 0,1 моль/л: 4,8 мл концентрованої сульфатної кислоти виливають у мірну колбу об'ємом 1 л, яка містить велику кількість дистильованої води. Об'єм доводять до 1 л.

- Розчин КОН (або NaOH) з еквівалентною концентрацією 0,1 моль/л: 5,6 г КОН (4 г NaOH) розчиняють у дистильованій воді, доводячи об'єм до 1 л.

- Індикатор – фенолфталеїн, 0,5 %-й розчин: 0,5 г фенолфталеїну розчиняють у 60 мл 96 %-го етилового спирту, об'єм доводять водою до 100 мл.

4.4. РОСЛИННИЙ І ЕКСКРЕТОРНИЙ ОПАД ЯК ДЖЕРЕЛО НАДХОДЖЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ В ҐРУНТ

Феномен біотичного кругообігу речовин у природних екосистемах визначений взаємодією двох фундаментальних процесів: синтезом біомаси та деструкцією органічної речовини. У лісових біогеоценозах відбувається значне накопичення органічної речовини, зосереджене головним чином у надземних органах дерев. Вилучення лісовими породами органічної речовини з кругообігу довгострокове. Однак щорічно відбувається відмирання листя, що обумовлює утворення особливого компонента лісової екосистеми – підстилки (або *фітодетриту*¹, за Чернобаєм).

Лісова підстилка – структурний біогеоценотичний компонент, який займає проміжне положення між фітоценозом і ґрунтом. Вона є важливим структурним елементом ґрунту і пов'язує рослинний і тваринний світ лісу з ґрунтом. Органічний опад різного ступеня трансформації, а в кінцевому підсумку – підстилка частково забезпечує повернення в ґрунт зольних елементів і нітрогену, раніше вилу-

¹ Фітодетрит – рослинні рештки, залучені до процесу розкладу.

чених із нього. Запас і склад лісових підстилок залежать від типу лісу та віку доростою.

Формування підстилки – це не тільки складування відмерлих органів наземних рослин. Завдяки ряду фізичних особливостей своєї структури – невисокій щільності, пухкій будові, насиченості різними газами, високій проникності повітря й води, підвищеній теплоємності – підстилка являє собою дуже специфічне екологічне середовище, що впливає на всі сторони життя її біоти. Хімічні процеси, що відбуваються в підстилці, пов'язані з двома різними блоками перетворення – процесом розкладання до елементарних складників і вивільненням енергії, а також із синтетичним процесом із затратою енергії та утворенням цілого спектра нових органічних речовин – вітамінів, амінокислот, ароматичних сполук, ферментів, гумусових сполук тощо. Особливості розкладання опаду й підстилки в природі та в умовах експерименту широко висвітлені в науковій літературі.

Саме в ґрунтовому і мертвому покриві (підстилці) кількість тварин максимальна. Тут можуть зосереджуватися до 90–97 % усього складу тварин і 55–88 % біомаси всього складу зооценозу. Тому чисельність і біомасу тварин дослідники вважають важливим показником ролі тварин у прояві загальних функціональних особливостей екосистеми, і в ґрунтоутворювальному процесі зокрема.

У лісових ґрунтах більшість ґрунтових безхребетних існують у підстилці та верхніх його шарах. Вони подрібнюють рослинні залишки, збільшуючи тим самим їх активну поверхню і підготовляючи до поїдання іншими тваринами. Орибатиїди, наприклад, вгризаються у свіжі рослинні залишки, видаючи їх м'які тканини, які значно швидше гуміфікуються, перетворюючись на екскременти (за Стебаєвим) – одну з форм зоодетриту.

Зоодетрит (за Чернобаєм) – це органічні залишки тваринного походження, що в екосистемі залучені до процесу розкладу. До його складу входить зоогенний відпад (відмерлі тканини, трупи й екскременти) та зоогенний перегній (біогумус, протеїногумати та ензими, копроліти). Трофічна й локомоторна активність ґрунтових тварин сприяє транслоціюванню величезної маси органічного й мінерального матеріалу, що в багато разів перевищує їх власну масу (за Стригановою). Дрібні й великі ґрунтові тварини в процесі харчування здійснюють деструкцію рослинних решток, перфоруючи опад, і тим самим збільшують поверхню розкладання. Крім того, вони стимулюють мікробіальні процеси, що обумовлюють мінералізацію органічного матеріалу та формування гумусового резерву.

У переробленні матеріалу підстилок, опаду і ґрунтових горизонтів беруть участь дві групи представників ґрунтової фауни – первинні та вторинні розкладальники. Перші поїдають рослинні рештки, змінюючи їх лише частково. Вони сприяють розкладанню м'яких тканин, але їх головна роль полягає в подрібненні, фрагментуванні рослинних залишків. До первинних розкладальників належать моллюски, енхітреїди, ряд видів дощових черв'яків (підстилкові форми), мокриці, кліщі, багатоніжки, личинки двокрилих, частково – ногохвістки, ківсяки.

Погано перероблені первинними розкладальниками рослинні рештки піддаються потім впливові мікрофлори, часто ж вони знову служать їжею для багатьох видів ґрунтової фауни, насамперед – вторинних розкладальників. До них на-

лежать, наприклад, велика група дощових черв'яків, ногохвістки. Ця група ґрунтової фауни піддає рослинні рештки як такі або у вигляді їх фрагментарних часточок в екскрементах первинних розкладальників біохімічним перетворенням, збагачує ферментами, частково мінералізує, змішує органічні й мінеральні компоненти до формування органо-мінеральних утворень. Таким чином, великий комплекс ґрунтової фауни, представлений вторинними розкладальниками (зокрема, дощовими черв'яками), є енергійним гуміфікатором і гумусоутворювачем.

За співвідношенням детриту й мінеральної частини ґрунту можна виділити такі градації рясності детриту (за Михайловим):

- 1) одиничне заповнення – не менше 25 % об'єму горизонту;
- 2) середнє заповнення – 25–50 %;
- 3) рясне заповнення – 50–75 %;
- 4) повне заповнення – понад 75 %.

Відповідно до “Базових шкал властивостей морфологічних елементів ґрунтів” (1982) мертвий матеріал рослинного походження за ступенем розкладеності можна розподілити на такі градації:

1. слабкозмінений: рослинні залишки відрізняються від аналогічних частин живої рослини кольором і фактурою поверхні;
2. середньозмінений: рослинні залишки не тільки відрізняються від частин живої рослини кольором і фактурою поверхні, але й мають різноманітні механічні ушкодження;
3. сильнозмінений: рослинні залишки втратили первісну морфологічну форму, але окремі їх фрагменти цілком або частково зберегли початкову будову;
4. цілком змінений: у матеріалі рослинного походження не видно фрагментів, що зберегли ознаки початкової будови.

4.4.1. Визначення вмісту поліфенолів і лігніну

Вміст поліфенолів і структурних елементів рослинних тканин (лігніну й клітковини) багато чим визначає темпи їх розкладання тваринами. Свіже опале листя з високою концентрацією сполук поліфенольного ряду неїстівне для багатьох видів сапрофагів. Перетворення поліфенолів відбувається під дією мікробіологічних чинників. У результаті утворюється спектр фенолкарбонових кислот: синапова, ферулова, кумарова, бузкова, ванілінова, оксибензойна, які є інгібіторами росту й розвитку рослин. Тварини, якщо й заковтують тканини тільки що опалого листя, то майже не перетравлюють їх. Лише після вилугування значної частини поліфенолів тварини починають споживати й засвоювати рослинні тканини. Структурні властивості листя впливають на швидкість його вживання. Листя з високим вмістом лігніну й клітковини часто тварини поїдають повільніше, хоча його засвоюваність не нижча, ніж видів опаду, які легко руйнуються. Для оцінки поживних властивостей листяного опаду велике значення має кількісне встановлення вмісту поліфенолів, лігніну й клітковини. Лігнін добре гуміфікується.

Метод визначення концентрації поліфенолів і лігніну в малих наважках рослинних решток (за King, Heath, 1967)

Пробопідготовка

1. Наважку масою 200–500 мг повітряно-сухого рослинного опаду (або тваринних екскрецій), подрібненого в ступці та просіяного через сито з отворами діаметром 0,2 мм, екстрагують 10 мл петролейного ефіру в закритій колбі протягом доби. Екстракт пропускають через паперовий фільтр, промивають невеликими порціями (декількома мілілітрами) петролейного ефіру. Цю операцію виконують для видалення сполук із наважки, які заважають визначенню поліфенолів. Одержаний фільтрат викидають.

2. Фенольні компоненти із сухої наважки після екстракції петролейним ефіром екстрагують 10 мл 50 %-го водного розчину метанолу. Екстракцію проводять у закритій колбі протягом доби, а потім, щоб відібрати осад, екстракт пропускають через паперовий фільтр у мірну колбу місткістю 50 (100) мл.

3. Осад двічі промивають 10 мл 50 %-го водного розчину метанолу, щоб у мірній колбі наприкінці процедури виявилось не більше 15 мл метанолу. У процесі промивання з осаду видаляються залишки цукрів і поліфенолів. Екстракт доводять водою до об'єму (V_0) 50 (100) мл і в ньому визначають вміст поліфенолів.

4. Сухий залишок наважки, невикористаний після екстракції петролейним ефіром та метанолом, **зберігають** для визначення в ньому вмісту лігнінів.

Примітка. Для розрахунку вмісту поліфенолів і лігніну в *беззольній частині* необхідно з'ясувати зольність вихідного рослинного матеріалу. Із цією метою беруть дві наважки однакової маси, в одній із яких встановлюють зольність, а другу використовують для визначення вмісту шуканих компонентів.

Реагенти

- Петролейний ефір (х. ч.).
- Водний розчин метанолу, 50 %-й: у мірній колбі на 250 мл об'єм метанолу 125 мл доводять дистилатом до риски.

Визначення вмісту поліфенолів

У рослинних тканинах міститься складна суміш поліфенолів, яку важко розділити. Тому найчастіше застосовують метод визначення відносної редуруючої здатності екстрагованих поліфенолів за допомогою реактиву Фоліна–Деніса.

1. 5 мл реактиву Фоліна–Деніса доливають до певного (1–5 мл) об'єму (V_1) метанольного екстракту в мірній колбі на 50 (100) мл. Через 3 хв туди додають 10 мл насиченого розчину соди (Na_2CO_3) і доводять об'єм до 50 (100) мл водою (V_2).

2. Колбу встановлюють на ротатор і розчин струшують протягом 1 год, потім фільтрують (якщо він каламутний) і за допомогою фотоелектроколориметра визначають його оптичну густина за довжини хвилі 725 нм у кюветі товщиною 1 см порівняно з бланком – холостим дослідом.

3. Проводять холостий дослід, у якому використовують воду з реактивами без додавання досліджуваного зразка.

Розрахунок

Перший спосіб розрахунку (за King, Heath, 1967). Концентрацію поліфенолів розраховують за значенням різниці оптичної густини розчину і бланка, помноженої на 10^{-3} і поділеної на повітряно-суху масу беззольної частини рослинних тканин.

$$\text{Поліфеноли, мг} = \frac{P_1 - P_0}{1000 \cdot (m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}})},$$

де P_1 – оптична густина досліджуваного розчину;

P_0 – оптична густина бланка;

$(m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}})$, мг – різниця мас наважки й золи, що відповідає масі беззольної частини рослинних тканин.

Другий спосіб розрахунку. Вміст поліфенолів можна також виразити за концентрацією (C , мг/мл) хлорогенової кислоти, взятої за стандарт. У цьому випадку для побудови калібрувального графіка вимірюють оптичну густина серії еталонних розчинів. Якщо оптична густина розчину виявиться вищою, ніж в еталонному розчині з найбільшою концентрацією кислоти, досліджуваний розчин розбавляють у необхідну кількість разів і проводять повторний аналіз із розбавленою пробою. За результатами вимірювання оптичної густини еталонних розчинів із відомим вмістом хлорогенової кислоти будують калібрувальний графік: за абсцисою – концентрація хлорогенової кислоти в еталонному розчині (мг/мл), за ординатою – відлік за шкалою приладу для відповідного розчину. За калібрувальною кривою знаходять концентрацію поліфенолів в аналізованій пробі. Далі проводять перерахунок на масу поліфенолу в 1 г беззольної наважки.

Уміст поліфенолів обчислюють за формулою

$$\text{ПФ} = \frac{C V_0 R \cdot 1000}{m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}}} = \frac{C V_0 V_2 \cdot 1000}{V_1 (m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}})},$$

де ПФ – вміст поліфенолів, мг/г беззольної речовини;

C – знайдена концентрація речовини в пробі, мг/мл;

R – розбавлення (кількість разів);

$(m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}})$, мг – різниця мас повітряно-сухої наважки й золи, що відповідає масі беззольної частини рослинних тканин;

1000 – коефіцієнт перерахунку ($m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}}$) на грами;

V_0 – загальний об'єм метанольного розчину (екстрагента), який додавали до наважки, мл;

V_1 – об'єм метанольного розчину, взятий з мірної колби для розведення, мл;

V_2 – об'єм мірної колби під час розведення, мл.

Вміст поліфенолів у вагових відсотках (на беззольну частину) розраховують за формулою

$$(ПФ \cdot 100) / 1000 = ПФ / 10,$$

де ПФ – уміст поліфенолів, мг/г беззольної речовини;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки;

1000 – коефіцієнт перерахунку міліграмів на грами.

Реагенти

• Реактив Фоліна–Деніса: 10 г вольфрамату натрію $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 2 г фосфорномолібденової кислоти, 5 г (або 2,97 мл) концентрованої (85 %-ї) ортофосфорної кислоти H_3PO_4 (густ. 1,685) та 75 мл дистильованої води кип'ятять упродовж 2 год, відфільтровують і водою доводять до 100 мл.

• Насичений розчин соди (за $t = 20^\circ\text{C}$): 21,8 г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (х. ч.) розчиняють дистильованою водою, доводячи розчин до 100 г.

Визначення вмісту лігнінів

1. Повітряно-сухий залишок, невикористаний після екстракції петролейним ефіром та метанолом, поміщають у колбу на 200 мл і доливають 15 мл 72 %-ї сульфатної кислоти.

2. Суміш збовтують протягом 2 год, а потім розводять її у 100 мл дистилату у кількісно переносять у конічну колбу місткістю 1 л.

3. Колбу нагрівають на киплячій водяній бані протягом 4 год, а потім лігнін відфільтровують на фільтрі Нуча № 3.

4. Лігнін промивають гарячою водою, етиловим спиртом і діетиловим ефіром, висушують за температури 105°C та зважують (m , мг).

Розрахунок

Вміст лігніну розраховують на беззольну суху речовину вихідної наважки рослинної тканини (мг/г) та у вагових відсотках:

$$\text{мг/г} = m / (m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}});$$

$$\% = m \cdot 100 / ((m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}}) \cdot 1000),$$

де m – абсолютно суха маса лігніну, що міститься в наважці, мг;

$(m_{\text{наважка}} - m_{\text{зола}})$ – різниця мас повітряно-сухої наважки й золи, що відповідає масі беззольної частини рослинних тканин, г;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки;

1000 – коефіцієнт перерахунку міліграмів на грами.

Реагенти

• Розчин сульфатної кислоти H_2SO_4 , 72 %-й: до 23,6 мл дистилату додають 72 мл концентрованої кислоти (густ. 1,84).

• Етиловий спирт, 96 %.

• Діетиловий ефір (х. ч.).

4.4.2. Методика визначення клітковини

У більшості рослин клітинна стінка хімічно являє собою складні вуглеводи – полісахариди, в основному целюлозу (клітковину). Целюлоза являє собою високополімерний вуглевод, мономером якого є глюкоза. Клітковина є істотним компонентом листяного опаду, який піддається трансформації під впливом абіотичних і біотичних факторів.

У характеристиці трофічної активності різних сапрофагів важливим показником є їх здатність розкладати клітковину. Молюски, диплоподи, мокриці, личинки двокрилих, енхитреїди відомі як активні розкладальники целюлози.

Роботу з рослинним матеріалом у процесі визначення сирової клітковини звичайно проводять, використовуючи великі наважки масою від 1,0 до 2,0 г (метод Ганнеберга і Штомана). Вміст клітковини визначають за кількістю моносахаридів, які утворюються в процесі гідролізу клітковини в сульфатній кислоті. Знаючи вагу наважки й залишку, що утворився після обробки наважки сульфатною кислотою, можна легко обчислити відсоток сирової клітковини в матеріалі рослинного походження.

Модифікація цього відомого методу для малих наважок мертвих рослинних тканин та ексскрементів розроблена Б. Р. Стриганою (1970). Для кожного варіанта досліді необхідно визначити вміст клітковини не менше, ніж у п'яти повторностях.

Визначення сирової клітковини (за Ганнебергом і Штоманом)

1. 1–2 г тонкоподрібненого матеріалу, відваженого на аналітичних терезах, переносять без втрат у хімічний стакан місткістю 400 мл, на зовнішній стінці якого за допомогою воскового олівця або маркера відмічений рівень, який відповідає 200 мл.

2. У стакан вливають 200 мл 1,25 %-го розчину H_2SO_4 , доводять до кипіння і кип'ятять 30 хв, періодично помішуючи скляною паличкою.

Необхідно уникати бурхливого кипіння. Щоб концентрація кислоти в результаті кипіння не підвищувалась, необхідно слідкувати за об'ємом рідини – він не повинен зменшуватися. Для цього кожні 6 хв у стакан доливають киплячу воду до відмітки 200 мл.

3. Після цього вміст стакана фільтрують за умов розрідження через беззольний фільтр у колбу Бунзена. Осад на фільтрі промивають гарячою водою доти, доки фільтрат не стане нейтральним (проба з лакмусом).

4. Потім переносять осад із фільтра знову в стакан без втрат, змиваючи гарячою водою, вливають 50 мл 5 %-го розчину NaOH, доливають дистилатом до відмітки 200 мл і знову кип'ятять 30 хв, дотримуючись тих самих правил, що й під час кип'ятіння з кислотою.

5. Після цього знову фільтрують із розрідженням через беззольний фільтр. Фільтр має бути заздалегідь висушений за температури 100–105 °С протягом 2–2,5 год і зважений на аналітичних терезах.

6. Осад на фільтрі промивають спочатку гарячою водою до нейтральної реакції фільтрату, потім 2–3 рази етиловим спиртом і діетиловим ефіром, поки промивні води не стануть безбарвними.

7. Фільтр із осадом переносять у той самий бюкс, у якому сушили порожній фільтр, і сушать за температури 100–105 °С протягом 5 год (до постійної маси).

Розрахунок

Маса сирової клітковини дорівнює різниці між вагою фільтра з осадом і вагою чистого фільтра. Вміст сирової клітковини в дослідженій речовині в процентах на абсолютно суху речовину обчислюють за формулою

$$\text{сира клітковина, \%} = (m_{\text{залишок}} / m_{\text{наважка}}) \cdot 100 ,$$

де $m_{\text{залишок}}$ – абсолютно суха маса сирової клітковини, що міститься в наважці, г;

$m_{\text{наважка}}$ – маса абсолютно сухої наважки, г;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки.

Реагенти

- Розчин H_2SO_4 , 1,25 %-й: 7,0 мл концентрованої сульфатної кислоти (х. ч.) доводять дистильованою водою до 1 л.
- Розчин NaOH (або KOH), 5 %-й: до 50 г х. ч. гідроксиду натрію (калію) поступово додають 950 г дистилату. Розчин перемішують до повного розчинення лугу.
- Етиловий спирт, 96 %-й розчин.
- Діетиловий, або сірчаний ефір (х. ч.).

Визначення клітковини в модифікації для малих наважок (за Стригановою)

1. Рослинний матеріал висушують до постійної маси, подрібнюють і просіюють через сито з діаметром отворів 0,25 мм.

2. Пробу масою 10–20 мг поміщають у хімічну пробірку й заливають 2 мл 80 %-го розчину сульфатної кислоти. Суміш ретельно розмішують скляною паличкою і залишають на півтори години для повного розчинення клітковини в кислоті.

2. Потім суміш переносять у колбу на 250 мл і доливають туди приблизно 100 мл води.

3. Колбу ставлять у киплячу водяну баню на 2 год, протягом яких відбувається повний гідроліз клітковини.

4. Після цього суміш охолоджують, переносять у центрифугальні стакани й центрифугують протягом 15 хв при 3 тис. об./хв.

5. Центрифугат переносять у мірну колбу на 100 мл, доводять водою до мітки і потім визначають у ньому вміст глюкози за допомогою антронового реактиву.

6. У хімічну пробірку на 20 мл поміщають 1 мл надосадової рідини після центрифугування і 10 мл антронового реактиву. Уміст пробірок перемішують і нагрівають на водяній бані протягом 7 хв.

7. Після цього пробірки відразу ж охолоджують і їх вміст фотометрують у кюветі товщиною 1 см за умов довжини хвилі 620 нм. Величину оптичної густини зразків вимірюють відносно холостої проби, яку готують аналогічно до дослідної, але замість центрифугованої суміші використовують дистильовану воду.

8. Концентрацію глюкози (C , мг/мл) визначають за калібрувальною кривою.

Для побудови калібрувального графіка готують серію водних розчинів глюкози в діапазоні концентрацій 1–100 мг/мл (наприклад, 1 мг/мл; 20 мг/мл; 40 мг/мл; 60 мг/мл; 80 мг/мл; 100 мг/мл). Необхідно, щоб значення оптичної густини досліджуваних розчинів знаходились в області лінійної залежності калібрувального графіка. У випадку, якщо вміст глюкози в зразках більше або менше вибраних для калібрування концентрацій, слід побудувати новий калібрувальний графік з урахуванням одержаних результатів або ж зменшити вихідну концентрацію досліджуваних розчинів шляхом розбавлення дистилатом.

Для побудови калібрувального графіка вимірюють оптичну густину серії еталонних розчинів. Якщо оптична густина розчину виявиться вищою, ніж в еталонному розчині з найбільшою концентрацією глюкози, дослідний розчин розбавляють у необхідну кількість разів і проводять повторний аналіз із розбавленою пробую.

За результатами вимірювання оптичної густини еталонних розчинів із відомим вмістом глюкози будують калібрувальний графік: за абсцисою – концентрація глюкози в еталонному розчині (мг/мл), за ординатою – відлік за шкалою приладу для відповідного розчину. За калібрувальною кривою знаходять концентрацію глюкози в аналізованій пробі.

Реагенти

- Антроновий реактив: 200 мг антрону, 8 мл абсолютного етилового спирту, 30 мл дистильованої води та 100 мл концентрованої сульфатної кислоти (густ. 1,84).
- Розчин сульфатної кислоти H_2SO_4 , 80 %-й: до 15,6 мл дистилату додають 80 мл концентрованої кислоти (густ. 1,84).
- Глюкоза (х. ч.).
- Запасний стандартний розчин глюкози з концентрацією 100 мг/мл: у мірній колбі на 1 л розчиняють 100 г глюкози і доводять об'єм дистильованою водою до мітки.

4.4.3. Визначення вмісту моносахаридів і дисахаридів

У рослинних залишках різного ступеню трансформації завжди є певна вихідна кількість моносахаридів і дисахаридів, що не входять до складу клітковини. Тому про вміст клітковини судять за різницею між кількістю глюкози в гідролізаті (див. п. 4.4.2) і вихідною кількістю глюкози, визначеною аналітичним шляхом.

1. Наважку 10–15 мг суспендують у 10 мл дистильованої води, нагрітої до 50 °C протягом 10 хв.

2. Суміш фільтрують і визначають у фільтраті вміст глюкози антроновим методом.

Для визначення глюкози, що утворюється в результаті гідролізу клітковини, слід відняти від загальної кількості глюкози в першому гідролізованому розчині (див. п. 4.4.2) вихідну кількість глюкози, розраховану на одиницю сухої маси матеріалу. Вміст глюкози в клітковині ($\Gamma_{\text{клітк}}$) рослинного матеріалу, за розрахунком А. Р. Кізеля, становить приблизно 0,9 (90 %) від загальної кількості глюкози (Γ), тобто $\Gamma_{\text{клітк}}: \Gamma \approx 0,9$.

Для порівняння вмісту клітковини в різних видах рослинного опаду її кількість виражають у відсотках від повітряно-сухої ваги.

4.4.4. Методика визначення колінів (за А. М. Гродзінським)

Визначення колінів (водорозчинних і летких фізіологічно активних речовин), наявних у рослинних виділеннях – важливий етап алелопатичних досліджень. Коліни майже завжди являють собою складну суміш різних речовин, що фізіологічно взаємодіють між собою, тому, навіть знаючи точно хімічний склад такого розчину, не завжди можна завчасно передбачити його біологічну дію.

Листяний опад, лісова підстилка, твердий зоогенний опад (екскреції тварин), а також екскременти ґрунтової мезофауни, яка переробляє рослинний опад, є основними постачальниками алелопатично активних речовин, що формують особливий екологічний фактор – алелопатичний (за М. М. Матвеевим). Його прояв залежить від напруженості алелопатичного режиму й може бути охарактеризований сумарним вмістом алелопатично активних речовин у середовищі (або за ефективністю їх сукупної дії на рослини).

Установлено, що алелопатичний режим (фактор) впливає на перебіг біотичного круговороту речовин і корелює з ним: чим вища напруженість алелопатичного режиму, тим менша відносна швидкість біотичного круговороту речовин, у тому числі алелопатично активних. Так, зі збільшенням віку й зімкнутості деревних насаджень запаси лісової підстилки стають більшими, а швидкість і ступінь її розкладання зменшуються¹. Отже, інтенсивність біотичного круговороту речовин (враховуючи алелопатично активні сполуки та їх міграцію з підстилки в ґрунт) знижується.

¹ Із геохімічної позиції підстилку розглядають як поверхневий радіальний ґрунтово-геохімічний (сорбційний, седиментаційний, механічний) мікробар'єр, у межах якого різко зменшується інтенсивність міграції хімічних елементів і як наслідок відбувається їх концентрація.

Хід роботи

Пробопідготовка. Одержання водних розчинів

До наважки повітряно-сухого або взятого за умов натуральної вологості матеріалу (але не під час дощу або роси) додають дистильовану воду в таких співвідношеннях:

– мертвий опад, лісова й степова підстилка, які знаходились під впливом атмосферних опадів – 1: 4;

– відмерлі листки, стерня, солома, пелюстки, оплодні та інше, щойно зібрані, без вилуговування опадами – 1: 10.

Екстрагування триває добу за кімнатної температури, причому екстрагований матеріал потрібно зберігати в тому вигляді, який він має у фітоценозі, тобто не подрібнювати, не змішувати з реактивами; припустиме лише в разі потреби відсортування решток різних видів для окремого вивчення.

Витяжки з відмерлого листя, оцвітіння, оплодня, стебел, екскрецій тварин, які не знаходились під впливом опадів, можуть містити дуже багато екстрактивних речовин, погано розділяться на хроматограмах і повністю гальмувати ріст біотестів, що не дає змоги виявити їх відносну алелопатичну активність. Такі витяжки треба досліджувати за великих розведень (1: 100, 1: 1000).

Водорозчинні коліни ґрунту вивільняють також шляхом однодобового екстрагування водою у вагово-об'ємному співвідношенні 1:1,5 (наприклад, до 10 г ґрунту додають 15 мл дистильованої води) або, що краще, 1: 1. В останньому випадку воду майже повністю утримує ґрунт. Відокремлюють її від вологого ґрунту центрифугуванням на лабораторній центрифугі з крупними циліндрами.

Біопроба на проростання насіння редиски

1. Тестування полягає в підрахунку числа пророслого насіння на дослідному розчині порівняно з проростанням контролю на дистильованій воді, яке становить точно 50 %.

За дослідний об'єкт візьмемо насіння редиски, оскільки ця культура є найчутливішою серед інших тест-об'єктів до колінів і дії важких металів. Використаємо насіння сорту Червоний з білим кінчиком, оскільки серед багатьох перевірених культур воно проростає найбільш швидко і рясно. Інші сорти редиски також досить чутливі до колінів.

Зазвичай за 12 год за температури 26 °C проростає 50 % насіння редиски, а через деякий час – решта. Висока енергія проростання бажана, бо чим активніше відбуваються ростові процеси, тим чутливіший організм рослини до зовнішніх впливів (це – загальне правило, обов'язкове для всіх біологічних тестів). Чим менша тривалість дослідів, тим менша небезпека мікробіальних змін у досліджуваних розчинах. Крім того, чим швидше відбувається дослід, тим вища продуктивність праці та менше потрібно посуду й місця.

Досліди різних науковців показали, що таке саме насіння редиски, але з дуже низькою енергією проростання (старе), яке сходило на 50 % за кілька днів, зовсім не реагує на досить шкідливі речовини. Отже, слід взяти свіже, добірне насіння з високою енергією проростання останнього року репродукції. Для досяг-

нення однорідності насіння його пересівають на ситі й беруть певну фракцію (2,0–2,5 або 2,5–3,0 мм).

2. Пророщують редиску на фільтрувальному папері в чашках Петрі діаметром 9–10 см. При цьому в одну чашку висівають дві сотні насінин. Для того щоб сотні не змішувались, по діаметру чашки на фільтрі роблять вертикальну складку, яка ділить чашку на дві частини. Тому фільтри вирізають не круглої, а овальної форми із запасом для складки. На 1 варіант досліду беруть, як правило, по шість сотень насіння (три чашки). Оскільки посів треба робити швидко, сотні насінин відраховують завчасно в пробірки, із яких їх потім висипають і рівномірно розподіляють на папері.

3. Оптимального зволоження досягають додаванням у чашку 5 мл води або досліджуваного розчину. Але додавання 4–10 мл води на чашку істотно не вплине на результати пророщування.

4. Біопробы на насіння дозволяють одержати досить надійні, стабільні, стандартні та адекватні результати навіть у різних умовах проведення досліду. У зв'язку з перерахунками схожості редиски при $K = 50\%$ вплив коливань температури та інших умов значною мірою нівелюється. Кожна порція має вміщувати 100 схожих насінин. Якщо схожість нижча 100% (наприклад 95%), треба, щоб у відміряній нормі містилось 105–106 насінин або в загальному випадку:

$$y = (100/x) \cdot 100,$$

де y – кількість насінин у відмірюваній порції, шт.; x – схожість насіння, %.

5. Посіану в чашках редиску витримують у темряві за температури 26 °C 11–12 год, після чого здійснюють перші підрахунки схожості.

Примітка. Якщо умови не дозволяють підтримувати таку температуру й пророщування відбувається за кімнатної, термін перших підрахунків відкладають на декілька годин. У будь-якому випадку посів здійснюють у кінці робочого дня, а схожість визначають уранці наступного дня. При цьому важливо, щоб підрахунок схожості припав на момент, коли в контрольних чашках проросте точно 50% насіння.

Пророслою вважають насінину, корінь якої прорвав насінневу оболонку. Редиска проростає дуже енергійно, тому підрахунки необхідно проводити швидко, бо повільна робота може вплинути на результати досліду. Для припинення небажаного проростання розкриті чашки можна швидко заморозити в холодильнику, оскільки після підрахунків вони будуть уже непотрібні.

6. Вираховують середню схожість редиски за варіантами і виражають її у відсотках відносно відповідної схожості на воді, яку беруть за 100%. Умовно назовемо такі дані “схожість за $K = 50\%$ ”. Така величина контролю взята для того, щоб виявити не лише гальмівний, а й стимулюючий ефект росту. Крім того, у момент, коли сходять половина насіння, активність процесу проростання досягає максимальної швидкості і, отже, максимальної чутливості до ростових агентів.

У результаті розрахунків кожен варіант характеризують однією цифрою, а саме схожістю насіння в той момент, коли на контролі проросло точно 50% усього посіяного. Такий спосіб вираження концентрації активних речовин у водному

розчині дозволяє уніфікувати результати й порівнювати між собою дані дослідів, проведених у різний час і за різних умов.

7. Оскільки хімічна природа колінів різноманітна, активність досліджуваних розчинів виражають в умовних кумаринових одиницях (УКО). За активністю 1 УКО відповідає ефекту дії розчину з концентрацією кумарину – гальмівника, взятого за стандарт – 1 мг/л.

Для зручності перерахунок схожості редиски за $K = 50\%$ на умовні кумаринові одиниці наводимо у вигляді рівнянь регресії, побудованих на основі шкали, наведеної в монографії А. М. Гродзінського “Основи хімічної взаємодії рослин” (1973).

Вміст кумаринів для діапазону схожості від 0% до 28% обчислюємо за рівнянням

$$y = 1356,2 - 139,59x + 6,396x^2 - 0,103x^3 \quad (R^2 = 99,97\%)$$

Для схожості понад 28% маємо

$$y = 499,62 - 14,696x + 0,150x^2 - 0,0005x^3 \quad (R^2 = 99,7\%)$$

Для цього діапазону можна застосовувати також таке рівняння:

$$y = e^{(6,492 - 0,0438x)} \quad (R^2 = 99,96\%),$$

де y – умовні кумаринові одиниці; x – схожість редиски, %; e – експонента (2,718); R^2 – коефіцієнт детермінації, що характеризує апроксимувальну здатність моделі.

4.5. ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА ҐРУНТУ. ГУМУС

Органічна речовина ґрунту являє собою складну систему специфічних (гумусових) і неспецифічних сполук, які знаходяться у вільному або зв'язаному з мінеральними компонентами стані. Органічною частиною ґрунту вважають усі органічні речовини, наявні в ґрунтового профілі, за винятком тих, що входять до складу живих організмів. Усі органічні речовини поділяють на дві великі групи. До першої належать відмерлі рештки живих організмів, які не втратили повністю анатомічну будову, до другої – ґрунтовий гумус (перегній), який складається з проміжних продуктів розкладу та гуміфікації, специфічних гумусових речовин та неспецифічних сполук (рис. 4.5.1).



Рис. 4.5.1. Номенклатурна схема класифікації органічних речовин ґрунту

Специфічні гумусові сполуки поділяють на групи: гумусові кислоти та негідролізний залишок (гумін). Специфічні гумусові сполуки стійкі, з ними пов'язані консервативні властивості ґрунтів: запаси карбону та нітрогену, ємність поглинання, забарвлення, частково – ґрунтова структура. Разом вони визначають груповий склад гумусу.

- До гумусових кислот належать такі:
 - гумінові кислоти (ГК), які поділяють на дві підгрупи: чорні (сірі) та бурі. Чорні ГК на відміну від бурих більше збагачені карбоном, мають більшу оптичну густину. У гумусі чорноземів спостерігають чорні ГК, а підзолів – бурі ГК;
 - гігатомеланові кислоти (раніше входили в групу гумінових кислот, але зараз їх виділяють окремо);
 - фульвокислоти (ФК) – група гумусових речовин, які легко розчиняються у воді та кислотах. Вони суттєво відрізняються від гумінових кислот за елементним складом; містять значно менше карбону й більше кисню.
- Негідролізний залишок** ґрунтового гумусу включає ряд груп речовин:
 - а) гумусові кислоти, міцно зв'язані з мінеральною частиною;
 - б) декарбоксіловані гумусові сполуки, які втратили здатність розчинятися в лугах, неспецифічні речовини та органічні сполуки, що не розчиняються;
 - в) залишки, що не втратили анатомічної будови (наприклад, уламки хітинового покриву комах).

Неспецифічні сполуки є важливою групою органічних речовин. Вони надходять у ґрунт з рослинними й тваринними залишками, корневими виділеннями тощо. До неспецифічних сполук належать лігнін, целюлоза, протеїни, амінокислоти, тобто майже всі складові компоненти тваринних і рослинних тканин. Такі сполуки швидко реагують на зміни зовнішніх умов, їх легко засвоюють і розкладають мікроорганізми, вони є основою для формування ґрунтового гумусу.

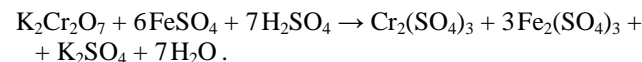
Процес гумусоутворення дуже чутливий до змін екологічних умов. Вміст і склад гумусу неоднакові не тільки для ґрунтів різних типів, але й залежать від характеру рослинного покриву, особливостей рельєфу, зволоження тощо. Тому паралельно з дослідженням гумусного стану ґрунтів обліку підлягають запаси біомаси, її видовий склад, структура, динаміка наростання та відмирання надземної та підземної мас, а також видовий склад і біомаса безхребетних та мікроорганізмів, які мешкають у ґрунті.

4.5.1. Визначення загального вмісту карбону органічних сполук за методом Тюріна

Метод Тюріна заснований на окисненні органічної речовини сірчаноокислим розчином біхромату калію, надлишок якого відтитрують сіллю Мора. Вміст карбону розраховують за кількістю хромової суміші, потрібної для окиснення органічної речовини. Окиснення карбону можна виразити рівнянням



Реакція зворотного титрування сіллю Мора матиме такий вигляд:



Метод Тюріна простий і не потребує спеціальної апаратури, проте його можна застосовувати не для всіх ґрунтів. Ускладнення мають місце в процесі визначення кількості органічної речовини в гідроморфних і напівгідроморфних піщаних

ґрунтах, багатих на закисні форми феруму та мангану. На їх окиснення витрачається додаткова кількість хромової суміші, і одержані результати є дещо завищеними. Також недоліком методу є неповне окиснення органічної речовини в оторфованих і багатих на рослинні рештки шарах ґрунту.

Наявність у ґрунтах підвищеної кількості йонів хлору теж впливає на результати визначення вмісту гумусу. Так, критичний вміст хлору, що починає відображатись на точності встановлення гумусу за методом Тюріна, дорівнює 0,5–0,6 %. За умов більш високого вмісту хлору рекомендують віднімати від розрахованої кількості гумусу 1/7–1/8 частину процентного вмісту хлору в ґрунті.

Дослідження ґрунтового гумусу проводять під час виконання багатьох завдань, що постають перед біологами. Найбільш простими показниками гумусового стану ґрунтів є вміст гумусу та його розподіл по ґрунтовому профілю. Їх застосовують у ході визначення генетичної приналежності ґрунтів, як класифікаційну та діагностичну ознаку, для оцінки потенційної родючості та якості ґрунтів.

Не слід ототожнювати гумус із лісовою підстилкою та іншими морфологічними формами накопичення органічної речовини на земній поверхні або на дні водоймищ. У цьому випадку доречно застосовувати терміни “органічна частина ґрунту”, “органічні речовини ґрунту”.

Примітка. Терміни “органічна частина ґрунту”, “органічні речовини ґрунту”, “гумус”, “гумусові речовини” не є синонімами.

У зоологічних дослідженнях показник вмісту органічної речовини застосовують під час оцінки впливу екскреторної діяльності безхребетних і хребетних тварин на різні типи ґрунтів, а також штучних ґрунтових сумішей. Було виявлено позитивну роль тварин у процесі накопичення органічних речовин у ґрунтах. Наприклад, експериментально доведено, що хребетні тварини протягом року підвищують вміст органічної речовини в ґрунті порівняно з контролем на 0,7–36,1 % залежно від типу ґрунту та виду тварин.

Розмір наважки ґрунту для визначення гумусу

Наважку ґрунту беруть відповідно до його забарвлення.

Колір ґрунту	Теоретично прогнозований вміст гумусу, %	Наважка ґрунту, г
Палевий, жовтий	1–2	1,0–0,5.
Сірий, світло-бурий	2–4	0,5–0,2.
Темно-сірий, бурий	4–7	0,2–0,15.
Темно-бурий, чорний	7–10	0,15–0,1.
Темно-бурий, чорний	10–15	0,1–0,05.

У разі визначення органічної речовини в лісних підстилках, органічних компостах та інших об'єктах з високим його вмістом треба не зменшувати наважку, а збільшувати кількість окиснювача – від 20 до 100 мл хромової суміші на наважку 0,05–0,2 г.

Хід аналізу

1. Зі зразків ґрунту, пропущених через сито з діаметром отворів 0,25 мм, відбирають наважку 0,1000 г із точністю до четвертого десяткового знака. Рекомендовано брати наважку на шматочок кальки, з якої ґрунт легко зсипати в аналітичну колбу.

2. Наважку обережно висипають у чисті сухі конічні термостійкі колби місткістю 100 мл і доливають рівно 10 мл розчину біхромату калію з еквівалентною концентрацією 0,4 моль/л. Колбочки закривають маленькими ліжками або скляними пробками-холодильниками.

3. Етап кип'ятіння можна здійснювати двома способами: власне за методом І. Тюріна та в модифікації Б. Нікітіна.

Кип'ятіння за методом І. Тюріна. Колби по черзі або всі разом ставлять на попередньо підігріту етернітову плитку або на піщану баню. Вміст кожної колбочки повинен прокип'ятитися точно 5 хв. Не слід вважати початком кипіння інтенсивне виділення мілких бульбашок вуглекислого газу, яке починається ще до кипіння. Кипіння окиснювальної суміші починається в той момент, коли на її поверхні з'являються крупні бульбашки газу. Воно повинно бути більш-менш рівномірним – не дуже бурхливим і не занадто слабким.

Кип'ятіння за методом І. Тюріна в модифікації Б. Нікітіна. Вміст колб обережно перемішують, закривають скляними холодильниками й нагрівають упродовж 20 хв у сушильній шафі, розігрітій до температури 150–160 °С. Одночасно на плитку (або у шафу) ставлять 1–2 колби з 10 мл хромової суміші з невеликою кількістю протертої пемзи, щоб запобігти перегріву колби (*холоста проба*).

Після кип'ятіння розчин хромової суміші змінює забарвлення з червоно-оранжевого до бурувато-коричневого. Якщо розчин набуває зеленого кольору, необхідно зменшити наважку й повторити аналіз. Можна зробити інакше. У колбу, дослід у якій не вдався, додати 5 мл хромової суміші й провести аналіз заново.

4. Після нагріву колби охолоджують, пробку-холодильник та стінки колби обмивають з промивалки дистильованою водою в ту саму колбу, розбавляючи розчин до об'єму 20–30 мл.

5. Додають 2–3 краплі індикатора – 0,2 %-го розчину фенілантранілової кислоти. Розчин перемішують, він забарвлюється у вишнево-червоний колір.

6. Титрують розчином солі Мора з еквівалентною концентрацією 0,2 моль/л до переходу забарвлення з вишневого через фіолетове в яскраво-зелене. Останній етап титрування проводять повільно та обережно, по одній краплині, оскільки забарвлення під час титрування змінюється дуже різко. Результати титрування записують у лабораторний журнал.

7. Холосту наважку також титрують в аналогічних умовах.

8. Результати аналізу розраховують у процентах органічного карбону або гумусу на повітряно-сухий ґрунт. Відсоток загального органічного карбону обчислюють за формулою

$$C_{\text{заг.}} = \frac{(V_{\text{хол.}} - V_{\text{с. Мора}}) C_{\text{екв.}} \cdot 0,003 \cdot 100}{m},$$

де $V_{\text{хол.}}$ – кількість солі Мора, використаної для титрування 10 мл розчину біхромату калію в холостій пробі, мл;

$V_{\text{с. Мора}}$ – кількість солі Мора, використаної для титрування після окиснення гумусу проби ґрунту, мл;

$C_{\text{екв.}}$ – еквівалентна концентрація солі Мора, моль/л;

0,003 – молярна маса еквівалента карбону, г/ммоль;

100 – коефіцієнт перерахунку результатів аналізу на відсотки;

m – наважка повітряно-сухого ґрунту, г.

Кількість гумусу в пробі розраховують за формулою

$$\text{Гумус, \%} = C_{\text{заг.}} \cdot 1,724,$$

де $C_{\text{заг.}}$ – кількість органічного карбону, %;

1,724 – коефіцієнт перерахунку органічного карбону на гумус.

Реагенти

• Розчин біхромату калію $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ із еквівалентною концентрацією ~ 0,4 моль/л: 40 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ розчиняють у 1 л дистильованої води. До розчину обережно невеликими порціями доливають 1 л концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 (густ. 1,84) і перемішують. Суміш сильно розігривається, тому треба виготовляти її в посуді з жаростійкого скла.

• Титрант – розчин солі Мора $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ з еквівалентною концентрацією ~ 0,2 моль/л. Його готують шляхом розчинення 80 г солі Мора в 1 л суміші дистильованої води з 20 мл концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 . Склянку з розчином солі Мора зберігають без доступу кисню в темному місці. Бажано використовувати свіжоприготований розчин солі Мора¹.

• Індикатор – 0,2 %-й розчин фенілантранілової кислоти $\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$: 0,2 г фенілантранілової кислоти розчиняють у 100 мл 0,2 %-го розчину безводної соди Na_2CO_3 . Для того щоб розчинення відбувалось краще, наважку фенілантранілової кислоти розтирають у фарфоровій чашці до пастоподібного стану, а після цього доливають залишок розчину безводної соди.

4.5.2. Визначення групового складу гумусу ґрунтів за прискореним (пірофосфатним) методом Конової та Бельчикової

Застосування пірофосфатного методу дозволяє швидко вилучити гумусові речовини з ґрунту. Для цього беруть розчин суміші пірофосфату натрію та NaOH , що містить у 1 л 44,6 г $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ та 4 г NaOH ; молярна концентрація піро-

¹ Точну концентрацію еквівалентів солі Мора встановлюють за біхроматом калію. Для цього в колбу місткістю 100 мл додають 15 мл водного розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ з еквівалентною концентрацією 0,2 моль/л, 5 мл концентрованої H_2SO_4 , декілька крапель фенілантранілової кислоти і титрують розчином солі Мора до переходу забарвлення з вишневого в зелене.

фосфату натрію в такому розчині дорівнює 0,1 моль/л, NaOH – 0,1 моль/л. Суміш має pH близько 13. Ґрунт однократно настоюють із цим розчином без подальшого промивання водою.

Хід аналізу

1-й етап: приготування пірофосфатної витяжки

1. Зі зразка ґрунту, пропущеного через сито з діаметром отворів 1 мм, відбирають у конічну колбу на 250 мл наважку масою 2,5 г і заливають її 50 мл свіжоприготованого розчину суміші пірофосфату та гідроксиду натрію.

2. Колбу закривають гумовою пробкою для ізоляції від CO_2 повітря, вміст обережно перемішують, запобігаючи прилипанню частинок ґрунту до стінок колби, і залишають до наступної доби.

3. Зранку вміст колби знову обережно перемішують. Щоб відокремити витяжку від ґрунту, застосовують центрифугування. Витяжка має бути прозора.

4. Відцентрифуговану витяжку обережно фільтрують через паперовий фільтр у чисту колбу, а залишки ґрунту викидають.

2-й етап: визначення вмісту органічного карбону в пірофосфатній витяжці

1. Піпеткою відбирають 2 мл розчину пірофосфатної витяжки, переносять у конічну колбу місткістю 100 мл і нейтралізують, додаючи сульфатну кислоту з еквівалентною концентрацією 1 моль/л до появи в розчині легкої каламуті.

2. Вміст колби випаровують на водяній бані, додають пемзу, щоб запобігти перегріву, доливають 10 мл розчину біхромату калію з еквівалентною концентрацією 0,4 моль/л.

3. Вміст колби обережно перемішують, закривають скляною пробкою-холодильником і нагрівають протягом 20 хв у сушильній шафі, розігрітій до температури 150–160 °С. Водночас у шафу ставлять одну колбу з 10 мл хромової суміші (холоста проба).

4. Після нагріву колби охолоджують, пробку-холодильник та стінки колби обмивають дистильованою водою з промивалки, розбавляючи розчин до об'єму 20–30 мл.

5. Додають 2 краплі індикатора – 0,2 %-го розчину фенілантранілової кислоти. Розчин перемішують, він забарвлюється у вишнево-червоний колір.

6. Титрують розчином солі Мора з еквівалентною концентрацією 0,2 моль/л до переходу забарвлення з вишневого через фіолетове в яскраво-зелене. Останній етап титрування проводять повільно та обережно, по одній краплині. Результати титрування записують у лабораторний журнал.

Розраховують відсоток органічного карбону витяжки ($C_{\text{вит.}}$) за формулою

$$C_{\text{вит.}} = \frac{(V_{\text{хол.}} - V_{\text{с. Мора}}) C_{\text{екв.}} \cdot 0,003 \cdot 100}{m},$$

де $V_{\text{хол.}}$ – кількість солі Мора, витраченої на титрування 10 мл розчину біхромату калію в холостій пробі, мл;

$V_{\text{с. Мора}}$ – кількість солі Мора, витраченої на титрування після окиснення гумусу проби ґрунту, мл;

$C_{\text{екв.}}$ – еквівалентна концентрація солі Мора, моль/л;

0,003 – молярна маса еквівалента карбону, г/ммоль;

100 – множник для перерахунку результатів аналізу на 100 г ґрунту;

m – наважка повітряно-сухого ґрунту, г.

3-й етап: визначення вмісту карбону гумінових кислот у витяжці

1. Піпеткою відбирають 20 мл витяжки і переносять у хімічний стакан. Краплями додають розчин сульфатної кислоти з еквівалентною концентрацією 1 моль/л до початку коагуляції гелю гумінових кислот (до появи каламуті в розчині).

2. Коагульовану витяжку обережно перемішують, закривають скляною пробкою-холодильником і ставлять на водяну баню. Нагрівають до температури 80 °C протягом 30 хв.

3. Хімічний стакан із розчином знімають із бані, охолоджують, залишають до повного осадження гелю гумінових кислот.

4. Розчин фільтрують на маленьких лійках через паперовий фільтр, перед цим змочений розчином сульфатної кислоти з еквівалентною концентрацією 0,05 моль/л. Фільтр з осадом декілька разів промивають холодним 0,05 М розчином сульфатної кислоти до одержання безбарвного фільтрату. Це дозволяє видалити домішки фульвокислот.

5. Одержаний фільтрат відкидають, а лійку з фільтром разом із осадом гумінових кислот ставлять у мірну колбу місткістю 100 мл.

6. Розчиняють осад гарячим 0,05 М розчином NaOH. Його додають у стакан, де відбувалося осадження, а потім переносять на фільтр. Фільтр промивають до повного розчинення гелю гумінової кислоти. Отриманий лужний розчин охолоджують, доводять до об'єму 100 мл у мірній колбі.

7. Для визначення карбону піпеткою відбирають 10 мл розчину і нейтралізують, додаючи сульфатну кислоту з еквівалентною концентрацією 1 моль/л до появи в розчині легкої каламуті. Органічний карбон у витяжці визначають двократно.

8. Вміст колби випаровують на водяній бані, додають пемзу, щоб запобігти перегріву, доливають 10 мл розчину біхромату калію з еквівалентною концентрацією 0,4 моль/л.

9. Вміст колб обережно перемішують, закривають скляною пробкою-холодильником і нагрівають упродовж 20 хв у сушильній шафі, розігрітій до температури 150–160 °C. Одночасно в шафу ставлять одну колбу з 10 мл хромової суміші (холоста проба).

10. Після нагріву колби охолоджують, пробку-холодильник та стінки колби обмивають дистильованою водою з промивалки, розбавляючи розчин до об'єму 20–30 мл.

11. Додають 2 краплі індикатора – 0,2 %-го розчину фенілантранілової кислоти. Розчин перемішують, він забарвлюється у вишнево-червоний колір.

12. Титрують розчином солі Мора з еквівалентною концентрацією 0,2 моль/л до переходу забарвлення з вишневого через фіолетове у яскраво-зелене. Останній етап титрування проводять повільно та обережно, по одній крапліні. Результати титрування заносять до лабораторного журналу.

Розраховують відсоток карбону гумінових кислот ($C_{\text{ГК}}$) відповідно до формули

$$C_{\text{ГК}} = \frac{(V_{\text{хол.}} - V_{\text{с. Мора}}) C_{\text{екв.}} \cdot 0,003 \cdot 100}{m},$$

де $V_{\text{хол.}}$ – кількість солі Мора, витраченої на титрування 10 мл розчину біхромату калію (холоста проба), мл;

$V_{\text{с. Мора}}$ – кількість солі Мора, витраченої на титрування після окиснення гумусу проби ґрунту, мл;

$C_{\text{екв.}}$ – еквівалентна концентрація солі Мора, моль/л;

0,003 – молярна маса еквівалента карбону, г/ммоль;

100 – множник для перерахунку результатів аналізу на 100 г ґрунту;

m – наважка повітряно-сухого ґрунту, г.

4-й етап: визначення у витяжці вмісту карбону фульвокислот

Кількість карбону фульвокислот ($C_{\text{фк}}$) визначають за різницею між загальним вмістом органічного карбону в пірофосфатній витяжці та його вмістом у витяжці гумінових кислот. Цей показник обчислюють у відсотках щодо ваги ґрунту та у відсотках щодо загального вмісту карбону в ґрунті.

$$C_{\text{фк}}, \% = C_{\text{вит.}} - C_{\text{ГК}},$$

де $C_{\text{вит.}}$ – кількість карбону у пірофосфатній витяжці, %;

$C_{\text{ГК}}$ – кількість карбону гумінових кислот, %.

5-й етап: визначення вмісту карбону гумінових речовин (негідролізного залишку)

Кількість карбону в залишку ґрунту після видалення гумусових речовин пірофосфатним розчином ($C_{\text{гумін}}$) визначають за різницею між вмістом органічного карбону в ґрунті та витяжці:

$$C_{\text{гумін}}, \% = C_{\text{заг.}} - C_{\text{вит.}}$$

6-й етап: визначення оптичної густини гумінових кислот

Найбільш повну характеристику гумусових речовин різних класів дає їх структурна формула. Дослідження різних учених довели наявність чіткого зв'язку між оптичними властивостями гумінових кислот та умовами їх утворення. Коефіцієнти екстинкції (так звані E -величини) залежать від ступеня конденсованості, який умовно виражають відносною часткою участі конденсованого ароматичного ядра і периферичних аліфатичних ланцюгів у побудові частинки гумінової кислоти.

Доцільно знімати спектри поглинання не тільки спеціально виділених препаратів, але й тих розчинів ГК і ФК, які одержують у процесі групового аналізу гумусу вищевказаними методами.

Для одержання наочних результатів М. М. Кононова рекомендує розбавляти розчини до однакової концентрації за карбоном (0,136 г карбону в 1 л). Якщо розчини не були розведені та всі вони мають різні концентрації карбону, їх легко звести до однакової концентрації за законом Бугера–Бера. Наприклад, якщо було визначено, що при 465 нм оптична густина розчину, який містить 0,117 г карбону в 1 літрі, дорівнювала $D_{0,117}$, то оптична густина за концентрації 0,136 г карбону на 1 літр дорівнюватиме $D_{0,136}$:

$$D_{0,136} = D_{0,117} \cdot \frac{0,136}{0,117}$$

Для характеристики гумусових кислот за спектрами поглинання прийнято вимірювати E -величини для умовно вибраних довжин хвиль. Найчастіше застосовують значення E -величин для двох довжин хвиль – зазвичай це відношення E_{465} до E_{650} (або простіше E_4/E_6), його називають *коефіцієнтом забарвленості*. За цим показником визначають ступінь зрілості ГК. Виявлено, що чорноземи та близькі до них ґрунти мають зрілі ГК, найбільш багаті на бензолні цикли, з найвищою оптичною густиною. У таких ґрунтах неспецифічні органічні сполуки, фульвокислоти та периферична частина ГК швидко мінералізуються і беруть участь у реакціях трансформації. На противагу в кислих підзолистих та південних посушливих ґрунтах в умовах, коли період трансформації органічних залишків скорочений, неспецифічні сполуки та слабкогуміфіковані компоненти зберігаються довго, у зв'язку з чим їх ГК містять велику частку периферичних аліфатичних ланцюгів, і є незрілі. Їх оптична густина нижча.

Реагенти

- Пірофосфат натрію $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (х. ч.).
- Натрію гідроксид NaOH (х. ч.).
- Титрант – розчин солі Мора $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ з еквівалентною концентрацією $\sim 0,2$ моль/л, яку встановлюють за біхроматом калію.
 - Розчини концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 :
 - з еквівалентною концентрацією 1 моль/л: 28 мл концентрованої кислоти розчиняють у дистилляті й об'єм доводять до 1 л;
 - з еквівалентною концентрацією 0,05 моль/л: 1,4 мл концентрованої кислоти розчиняють у дистилляті й об'єм доводять до 1 л.
 - Розчин біхромату калію $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ з еквівалентною концентрацією $\sim 0,4$ моль/л.
 - Індикатор – 0,2 %-й розчин фенілантранілової кислоти.
 - 0,05 М розчин натрію гідроксиду NaOH : 2,00 г гідроксиду натрію розчиняють у певному об'єму дистилляту й доводять до 1 л.

Інтерпретація результатів аналізу

Як приклад наведемо результати аналізу групового складу гумусу осолоділого лучно-чорноземного ґрунту (табл. 4.5.1).

Таблиця 4.5.1

Груповий склад гумусу

Горизонт ґрунту, см	$C_{\text{заг}}, \%$	$C_{\text{вит.}}, \%$	$C_{\text{ГК}}, \%$	$C_{\text{ФК}}, \%$	$C_{\text{гуміну}}, \%$	$C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$	E_4/E_6
0–10	1,75	1,43	1,05	0,38	0,32	2,69	3,14
10–26	1,58	0,96	0,66	0,30	0,62	2,20	3,79
36–46	0,97	0,48	0,18	0,30	0,18	0,60	3,78
52–70	1,14	0,51	0,28	0,23	0,63	1,32	4,44
70–107	0,94	0,35	0,17	0,18	0,59	1,00	4,15

Якість гумусу оцінюють за показниками ступеня гуміфікації, групового та фракційного складу й природи гумінових кислот. Ступінь гуміфікації є часткою гуміфікованого матеріалу (гумінових кислот) у складі органічної речовини. Цей показник визначають за відношенням кількості ГК до загального вмісту органічної речовини в ґрунті. Ступінь гуміфікації вважають дуже високим, якщо більше 40 % органічної речовини становлять ГК.

Гуматно-фульватні співвідношення застосовують для характеристики типів гумусу. Межею поділу типів умовно взяті відношення $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$, яке дорівнює одиниці. Величини більші одиниці, характерні для гуматного типу, який поділяють на власне гуматний ($C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}} > 2$) і фульватно-гуматний ($C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ у межах 1–2).

Загальна інформація про гумусовий стан ґрунтів має бути доповнена показниками оптичної густини ГК. За значеннями E -величин роблять висновки, які гумінові кислоти – чорні або бурі – переважають у дослідженому ґрунті. E -величини фульвокислот не застосовують для характеристики гумусового стану, оскільки вони майже не розрізняються за оптичною густиною.

Співвідношення E_4/E_6 незалежно від концентрації карбону в розчині постійне для гумінових кислот окремих типів ґрунтів. Для підзолистих ґрунтів цей показник дорівнює 5,0; для чорноземів – 3,0–3,5; для каштанових ґрунтів – 3,8–4,0.

4.5.3. Головні показники гумусового стану ґрунтів

Гумусовий стан ґрунтів можна охарактеризувати великим набором (сукупністю) показників, що відображають рівні накопичення гумусу в ґрунті, його профільний розподіл, якісний склад, міграційну здатність гумусових речовин тощо. Наведемо далі найважливіші характеристики гумусового стану ґрунту (табл. 4.5.2).

Таблиця 4.5.2

Показники гумусового стану ґрунтів (за Гришиною і Орловим, скорочено з доповненнями)

Характеристика	Рівень, характер прояву	Діапазон
Потужність підстилки (для лісових ґрунтів), см	дуже потужна	> 10
	потужна	5–10
	середньої потужності	2–5
	малопотужна	< 2
Вміст гумусу в гумусових горизонтах, %	дуже високий	> 10
	високий	6–10
	середній	4–6
	низький	2–4
	дуже низький	< 2
Профільний розподіл гумусу в метровій товщі	різко зменшується	–
	поступово зменшується	–
	рівномірний	–
	наростаючий	–
	бімодальний	–
Ступінь гуміфікації органічної речовини, $(C_{гк}/C_{заг}) \cdot 100\%$	дуже високий	> 40
	високий	30–40
	середній	20–30
	слабкий	10–20
	дуже слабкий	< 10
Тип гумусу	гуматний	> 2
	фульватно-гуматний	1–2
	гуматно-фульватний	0,5–1
	фульватний	< 0,5
Тип “лісового гумусу” (за Мюллером)	м’який гумус (муль): малопотужна підстилка та структурований гумусовий горизонт	–
	грубий гумус (мор): потужна підстилка та дуже малий гумусовий горизонт	–
	проміжний гумус (модер): розвинена підстилка та гумусовий горизонт	–
	торф: форма гумусу заболочених ґрунтів	–

4.6. ФОНД ЗАГАЛЬНОГО ТА НІТРАТНОГО НІТРОГЕНУ, ФОСФАТІВ І КАЛІЮ В ҐРУНТІ

Нітроген у ґрунті наявний у формі різних сполук: нітратів (NO_3^-), нітритів (NO_2^-), амонію (NH_4^+), нітрогену органічних сполук. Його загальний вміст у різних типах ґрунтів може варіювати від 0,03 до 0,6 %, у торфах – до 3 %. Нітроген є невід’ємною частиною органічної речовини ґрунту. Крім того, основна частина нітрогену ґрунту (95–99 % від загального вмісту) пов’язана з його органічною речовиною. Але вона недоступна для живлення рослин. Органічний нітроген, що надходить у ґрунт із рослинними залишками й рештками тварин, переважно білковий. Тільки коли ці органічні речовини перетворяться на мінеральні сполуки (нітри й нітрати), нітроген стане доступним для живлення рослин у вигляді іонів, що виключно (або майже виключно) вільно дифундують у ґрунтовому розчині.

Як правило, лише нітри й нітрати (а також обмінна форма амонію та амоній, що знаходиться в ґрунтовому розчині), мають велике якісне значення, оскільки саме ними живляться рослини. Вміст нітратів і нітритів у ґрунтах не перевищує 5 % від загального вмісту нітрогену; частка нітритів зовсім незначна – частки міліграма на 1 кг ґрунту.

У тваринах у зв’язку з великим відносним вмістом білків і амінокислот концентрація нітрогену вища, ніж в інших групах живих організмів – бактеріях, грибах і наземних рослинах, і становить 8–11 % від сухої маси проти 9,6 %, 3,0 % та 1,3–3,6 % відповідно. Невипадково, що у високозольних організмів або організмів, здатних до запасання ліпідів, концентрація нітрогену в тілі нижча порівняно з тваринами з низькою зольністю. Так, у черепашкових молюсків має місце істотне відхилення від указаного вище інтервалу концентрації елемента, що обумовлено наявністю потужної кальцинованої черепашки.

4.6.1. Колориметричний метод визначення загального нітрогену

Визначення загального нітрогену в ґрунті має велике значення для екологічної та виробничої характеристики останнього. Щоб установити кількість загального нітрогену, застосовують метод К’ельдаля, що дозволяє одержати досить точні результати, але він пов’язаний зі значною витратою часу на відгін аміаку й використанням великої кількості луґу. Це спонукало багатьох дослідників розробити спрощену методику визначення загального нітрогену в ґрунтах. Вона наведена нижче.

Повністю зберігаючи хімізм процесу перетворення нітрогену органічної речовини на аміак, замість відгону аміаку відповідно до методики визначають амоній у сірчано-кислій солі методом колориметрування в присутності реактиву Несслера. Але визначенню амонію в цьому випадку буде заважати надлишок сульфатної кислоти, що руйнує реактив Несслера. Щоб усунути шкідливу дію сульфатної кислоти, необхідно знизити її концентрацію за допомогою розведення дистильованою водою з подальшою нейтралізацією невеликою кількістю луґу. У таких

умовах луг не руйнує сульфату амонію й аміак не виділяється. Після нейтралізації розчин забарвлюється реактивом Несслера й колориметрується.

Підпорядкування закону Бера – до 1,25 мг/л.

Хід роботи

1. Наважку 1–2 г¹ залежно від очікуваного вмісту в ній нітрогену поміщають у круглодонну колбу К'єльдаля ємністю 100 мл.

2. Для прискорення реакції окиснювання органічної речовини до наважки додають як каталізатори 0,2 г сірчаноокислого купруму й 2 г кристалічного сірчаноокислого калію.

3. Потім у колбу по стінці доливають 10 мл концентрованої H₂SO₄. Уміст колби збовтують доти, доки весь ґрунт буде змочений кислотою. Колбу нагрівають до кип'ятіння і знебарвлення рідини.

4. Після охолодження весь вміст колби (разом із мінеральним залишком ґрунту) обережно розбавляють водою й переносять через лійку в мірну колбу на 500 мл (колбу, у якій спалювали зразок, ретельно обмивають безаміачною дистильованою водою, воду зливають у мірну колбу), доводять безаміачним дистилатом до мітки, збовтують і фільтрують (фільтрують тільки ґрунтові зразки, рослинні фільтрувати не обов'язково).

Процедуру фільтрування можна замінити відстоюванням протягом 2–3 год (краще колбу залишити на ніч) до повного прояснення розчину.

Перед наступною операцією необхідно переконатися, що вміст нітрогену в аліквотній частині не буде перевищувати 0,2 мг. Тому слід зробити попередню пробу на вміст нітрогену в досліджуваному розчині. Це здійснюють у такий спосіб. У пробірку беруть 5 мл розчину, додають 2–3 краплі сегнетової солі, перемішують, нейтралізують розчин 10 %-м розчином NaOH за універсальним індикаторним папірцем і вносять 2–3 краплі реактиву Несслера. Якщо розчин стане жовтий, але збереже свою прозорість, визначення можна робити без розведення. У разі більш високого вмісту аміачного нітрогену (понад 1 мг) розчин опалесціє й через 15–30 хв утвориться каламуть. У цьому випадку потрібно відносно велике розведення. Якщо ж амонію так багато, що відразу виділяється осад або розчин стає бурий, розбавляють настільки сильно, щоб забарвлення розчину, який колориметрують, було ясно-жовте.

5. Відбирають 10 мл фільтрату (або нескаламученого прозорого надосадово-го розчину, що утворився після відстоювання) і поміщують у мірну колбу ємністю 100 мл (або 200–250 мл залежно від вмісту амонію), додають 1 (2) мл 25 (50) %-го розчину сегнетової солі², об'єм рідини доводять до 85–95 мл безаміачною дистильованою водою, після чого для нейтралізації кислого розчину додають 2–2,5 мл

¹ Наважку торфу беруть 0,5 г, рослинного зразка – 0,5–1 г.

² Розчин сегнетової солі краще додавати безпосередньо після відбору фільтрату, оскільки в противному разі розчини будуть непрозорі, що заважатиме колориметруванню. Розчин додають в аналізований зразок для зв'язування іонів (головним чином Ca²⁺ та Mg²⁺), які заважають визначенню.

10 %-го розчину NaOH (до слабколужної реакції за лакмусом) і доливають 2 мл реактиву Несслера.

6. Об'єм рідини доводять до мітки, перемішують і через 15 хв колориметрують за умов довжини хвилі 400 (400–425) нм.

7. Проводять контрольний (холостий) дослід на чистоту реактивів.

Реагенти

- Дистильована вода без аміаку.

Усі реактиви готують на воді без аміаку, оскільки для колориметричного методу характерна висока чутливість, а домішка аміаку буде знижувати точність його визначення.

Найчастіше застосовують такий спосіб одержання безаміачної води: до дистильованої води додають Na₂CO₃ (х. ч.) до слабколужної реакції за фенолфталеїном і випарюють розчин приблизно на 1/4 об'єму. Кінець кип'ятіння встановлюють пробою з реактивом Несслера.

Іноді користуються дистильованою водою подвійної перегонки, причому під час другої перегонки воду підкислюють сульфатною кислотою (1 мл H₂SO₄ з густ. 1,84 на 1 л) і здійснюють середній відгін.

- Концентрована сульфатна кислота H₂SO₄ (х. ч.) з густ. 1,84.

- 25 (50) %-й розчин сегнетової солі. 25 (50) г виннокислого калію-натрію KNa₄H₄O₆ · 4H₂O розчиняють у 100 мл безаміачної дистильованої води, перевіряють розчин на вміст аміаку, оскільки сіль часто буває забруднена ним.

У випадку наявності йону NH₄⁺ у розчин додають краплями KOH або NaOH до лужної реакції, після чого кип'ятять і випарюють до об'єму 20 мл (або до повного видалення аміаку). Перевіряють розчин реактивом Несслера. Приготований розчин охолоджують і розбавляють безаміачною дистильованою водою до вихідного об'єму. Для зв'язування слідів аміаку рекомендують у розчин сегнетової солі додати 5 мл реактиву Несслера.

- Реактив Несслера. Його зберігають у темряві. У світлій склянці й на світлі реактив розкладається.

- Каталізатори:

- сірчаноокислий купрум CuSO₄ · 5H₂O (х. ч.) – 0,2 г;

- кристалічний сірчаноокислий калій K₂SO₄ (х. ч.) – 2 г.

- Зразковий розчин.

Як зразковий використовують розчин сірчаноокислого амонію. Робочий зразковий розчин готують зі вмістом 10 мг NH₄⁺ у 1 л. Необхідно пам'ятати, що до складу робочого зразкового розчину потрібно вводити сірчаноокислий калій, сірчаноокислий купрум, сульфатну кислоту й розчин їдкого натрію в тих самих співвідношеннях, у яких вони містяться в дослідних зразках ґрунтів і рослин, тому що відсутність їх змінює оптичну густину розчину. Крім того, наявність іонів калію й купруму впливає на інтенсивність забарвлення розчину під час додавання реактиву Несслера.

Еталонний розчин зі вмістом нітрогену 0,1 мг/мл одержують так: 0,3820 г висушеного до постійної маси за умов 100–105 °С х. ч. NH_4Cl або 0,4720 г х. ч. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ поміщають у мірну колбу ємністю 1 л, розчиняють у невеликій кількості безаміачної води, доводять розчин цією водою до риски, ретельно перемішують.

Робочий еталонний розчин зі вмістом 0,01 мг N в 1 мл одержують розведенням запасного розчину в 10 разів.

Серія еталонних розчинів. Беруть 11 мірних колбочок ємністю 50 мл і в кожну відмірюють бюреткою робочий еталонний розчин у вказаних кількостях (табл. 4.6.1).

Таблиця 4.6.1

Шкала стандартних розчинів, що містять нітроген

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією N 0,01 мг/мл, мл	Концентрація N у готовому запасному розчині в мірній колбі на 50 мл, мг/мл
1	1,0	0,0002
2	3,0	0,0006
3	5,0	0,001
4	7,0	0,0014
5	9,0	0,0018
6	11,0	0,0022
7	13,0	0,0026
8	15,0	0,003
9	17,0	0,0034
10	19,0	0,0038
11	21,0	0,0042

Примітка. Для розрахунку концентрації готового запасного розчину (C_1 , мг/мл) необхідно об'єм вихідного розчину (V_0 , мл) помножити на концентрацію основного (C_0 , мг/мл) і поділити на об'єм мірної колби, у якій готують запасний розчин (V_1 , мл). Формула набуває вигляду $C_1 = (C_0 V_0) / V_1$. Наприклад, здобутий розчин містить NO_3^- 0,5 мг у 1 мл (C_0). За ним складають шкалу стандартних розчинів. Так, якщо в колбу на 250 мл (V_1) вливають 50 мл вихідного розчину (V_0) і розбавляють до мітки, то концентрація цього запасного розчину (C_1) становить 0,1 мг/мл.

Для побудови калібрувального графіка вимірюють оптичну густину серії еталонних розчинів із відомим вмістом нітрогену. На графіку за абсцисою наводять концентрацію нітрогену в еталонному розчині (мг/л), за ординатою – відлік за шкалою приладу (оптична густина) для відповідного розчину. За калібрувальною кривою знаходять вміст нітрогену в аналізованому розчині. Якщо оптична густина розчину буде вища, ніж в еталонному розчині з найбільшою концентрацією нітрогену, дослідний розчин розбавляють у необхідну кількість разів і проводять повторний аналіз із розведеною пробою.

Вміст нітрогену розраховують за формулами

$$N, \text{ мг/100г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{m} K_{\text{H}_2\text{O}} ;$$

$$N, \% = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{1000 m} K_{\text{H}_2\text{O}} ,$$

де C_1 – концентрація нітрогену, знайдена за калібрувальним графіком, мг/мл;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

1000 – коефіцієнт перерахунку міліграмів на грами;

m – наважка ґрунту, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Метод колориметрування дає задовільні результати. Він дозволяє проводити аналіз із наважкою від 0,5 до 2 г. Похибка визначення не перевищує 1 % величини, яку встановлюють.

4.6.2. Визначення нітратного нітрогену

Колориметричний метод із використанням хромотропової кислоти

Хід роботи

1. Наважку 10 (5) г повітряно-сухого ґрунту поміщають у колбу ємністю 100 мл. Додають 50 (25) мл 0,05 %-го розчину K_2SO_4 , збовтують протягом 3 хв і фільтрують через складчастий фільтр.

2. У склянку місткістю 50 мл вносять піпеткою 3 мл витяжки, обережно додають 7 мл робочого розчину хромотропової кислоти. Рідину перемішують і залишають стояти для охолодження протягом 30 хв. За цей час розчин набуває стійкого жовтого забарвлення.

Якщо використовувані розчини забарвлені більш інтенсивно, ніж зразкові, для колориметрування беруть менший об'єм витяжки. Його доводять водою точно до 3 мл і потім додають хромотропову кислоту.

3. Оптичну густину витяжок вимірюють фотоелектроколориметром на довжині хвилі 440 нм.

Реагенти

- Розчин хромотропової кислоти.
 - Основний 0,1 %-й розчин. Розчиняють 100 мг хромотропової кислоти в 50–70 мл концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 (розчин обов'язково повинен залишатися безбарвний). Після розчинення солі розчин переносять у мірну колбу місткістю 100 мл і об'єм доводять сульфатною кислотою до мітки.

– Робочий розчин. Піпеткою відбирають 10 мл основного розчину і поміщають у мірну колбу об'ємом 100 мл, доливають 7 мл концентрованої хлоридної кислоти HCl і об'єм розчину доводять концентрованою H₂SO₄ до 100 мл. Одержаним реактивом можна користуватися протягом 4 днів після приготування.

Основний і робочий розчини хромотропової кислоти зберігають у склянках із притертими пробками в темному місці.

• Основний еталонний розчин нітратів: розчиняють 0,13708 г NaNO₃ (х. ч.) в 1 л дистилату. Розчин містить 0,1 мг NO₃⁻ в 1 мл. Із нього готують серію робочих розчинів (табл. 4.6.2).

Таблиця 4.6.2

Шкала стандартних розчинів, що містять нітрат-іон

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією NO ₃ ⁻ 0,1 мг/мл (100 мг/л), мл	Концентрація NO ₃ ⁻ у готовому запасному розчині в мірній колбі на 100 мл, мг/л
1	1,0	1,0
2	3,0	3,0
3	5,0	5,0
4	7,0	7,0
5	9,0	9,0
6	11,0	11,0
7	13,0	13,0
8	15,0	15,0
9	17,0	17,0
10	19,0	19,0
11	21,0	21,0

• Розчин порівняння, використовуваний у ході колориметрування, готують додаванням до 3 мл дистильованої води 7 мл робочого розчину хромотропової кислоти.

- Концентрована сульфатна кислота H₂SO₄ (х. ч.).
- Концентрована хлоридна кислота HCl (х. ч.).
- 0,05 %-й розчин K₂SO₄: 1 г солі K₂SO₄ (х. ч.) розчиняють у 2 л дистильованої води.

За показаннями фотометрування еталонних розчинів будують калібрувальний графік, на якому за абсцисою наводять концентрацію нітратів в еталонному розчині (мг/л), за ординатою – його оптичну густину. Визначивши величину оптичної густини розчину з невідомим вмістом нітратів, за графіком знаходять відповідну концентрацію NO₃⁻ в аналізованій пробі (мг/л). Якщо оптична густина розчину виявиться вища, ніж в еталонному розчині з найбільшою концентрацією нітратів, дослідний розчин розбавляють у необхідну кількість разів і проводять повторний аналіз із розведеною пробою.

Вміст нітратів у ґрунті розраховують за формулами

$$\text{NO}_3^-, \text{ мг/л} = C_1 r;$$

$$\text{NO}_3^-, \text{ ммоль/л} = C_1 r / 62;$$

$$\text{NO}_3^-, \text{ мг/100 г ґрунту} = C_1 r V_0 \cdot 100 / (m \cdot 1000);$$

$$\text{NO}_3^-, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{62 \cdot 1000 V_{\text{ал.}} m} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\text{NO}_3^-, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 62 \cdot 0,001,$$

де C₁ – концентрація нітрат-іона, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення (r = 1, якщо розчин не розбавлений);

V₀ – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

V_{ал.} – об'єм витяжки, взятої для фотометричного визначення, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

62 – еквівалентна маса нітрат-іона, г/моль;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить нітрати з літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

0,001 – коефіцієнт перерахунку кількості речовини мілімоль на моль;

K_{H₂O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Інколи вміст нітратів перераховують на нітроген. Для цього величину вмісту нітратів множать на величину 0,226. Отримують вміст власне нітратного нітрогену в ґрунті. Забезпеченість ґрунтів нітратним нітрогеном залежно від їх pH і агрохімічних вимог певних культур рослин описано далі (табл. 4.6.3).

Таблиця 4.6.3

Забезпеченість ґрунтів нітрогеном щодо певних культур рослин

Забезпеченість	Вміст N, мг на 100 г ґрунту								
	pH ґрунту нижче 5			pH ґрунту 5–6			pH ґрунту вище 6		
	Зернові	Коренеплоди, картопля	Овочеві культури	Зернові	Коренеплоди, картопля	Овочеві культури	Зернові	Коренеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька	< 4	< 5	< 7	< 3	< 4	< 6	< 3	< 4	< 5
Низька	< 5	< 7	< 10	< 4	< 6	< 8	< 4	< 5	< 7
Середня	5–7	7–10	10–14	4–6	6–8	8–12	4–5	5–7	7–10
Висока	> 7	> 10	> 14	> 6	> 8	> 12	> 5	> 7	> 10

4.6.3. Методи визначення фосфатів

Загальний уміст фосфору в ґрунтах невисокий і коливається в межах 0,02 % P_2O_5 (або 0,009 % – перерахунок на фосфор) у бідних піщаних ґрунтах, до 0,2 % P_2O_5 (0,09 % – перерахунок на фосфор) – у потужних багатогумусних ґрунтах, тобто майже не перевищує вміст елемента в силікатних породах. Верхні горизонти дещо збагачені фосфором. Середня масова частка фосфору в організмах ґрунтових безхребетних тварин становить близько 1 %, у бактеріях – 3 %, у наземних рослинах – 0,23 %. У ґрунтових безхребетних за умов різних фізіологічних станів (спокою, активності, голодування тощо) має бути різний вміст фосфору, оскільки органічні фосфати неоднаково витрачаються в процесі росту та розвитку, тому можуть мати місце значні його коливання у тваринному організмі. У таких безхребетних тварин, як кільчасті черви, молюски, членистоногі, голкошкірі, фосфор акумулюється в організмі у вигляді вторинних мінералів.

У природі фосфор майже завжди має вигляд кисневих сполук – фосфатів. Разом із мінеральними сполуками в ґрунтах міститься фосфор, який міцно пов'язаний з органічною речовиною і входить до її структури. *Вміст органічних фосфатів різний у різних типах ґрунтів і може сягати 50 % від загального вмісту елемента в ґрунті.* Рухомість сполук фосфору та їх форми в ґрунті обумовлені окультуреністю, кислотністю (pH), окиснювально-відновлювальними умовами й біологічною активністю самого ґрунту.

Визначення легкорозчинних (рухомих) фосфатів у витяжці за Чиріковим (для некарбонатних ґрунтів)

1. 4 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито з діаметром отворів 1 мм, переносять у колбу місткістю 250 мл, змішують зі 100 мл розчину оцтової кислоти CH_3COOH з концентрацією 0,5 моль/л і залишають на 18–20 год (на ніч) або збовтують на ротаторі протягом 2 год без настоювання.

2. Суспензію фільтрують через беззольні фільтри в колбу місткістю 250 мл.

3. У мірну колбу місткістю 100 (50) мл переносять 5–40 мл прозорого фільтрату.

4. Розчин доводять дистильованою водою до 40 мл і вводять 1–2 краплі індикатора β -динітрофенолу. Нейтралізують розчин 10 %-м NH_4OH до появи жовтого забарвлення і відразу додають 1–2 краплі 10 %-го розчину H_2SO_4 (або HCl) до знебарвлення кольору індикатора ($pH = 2,4$).

5. На колбу 100 мл додають 4 мл (на колбу 50 мл – 2 мл) розчину молібденовокислого амонію, до мітки доводять дистильатом.

6. Вводять 3 краплі 2,5 %-го розчину хлористого стануму $SnCl_2$ і перемішують.

7. Оптичну густину вимірюють через 5–7 хв за умов довжини хвилі 720 нм відносно контрольного зразка. Не пізніше ніж через 15–20 хв фотометрування завершують.

У фільтраті, який залишився, визначають калій на полуменовому фотометрі.

Реагенти

- Сульфатмолібденова рідина: 25 г молібденовокислого амонію $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 2H_2O$ (х. ч.) розчиняють у 200 мл дистильату в ході нагрівання до 60 °С. Водночас до 500 мл дистильату додають 280 мл концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 . Обидва розчини охолоджують до кімнатної температури. До розчину молібденовокислого амонію додають порціями, перемішуючи, розчин сульфатної кислоти і доводять приготований розчин до 1 л. Така сульфатмолібденова суміш стійка і зберігається в темному посуді досить довго.

- 2,5 %-й розчин двохлористого стануму $SnCl_2 \cdot 2H_2O$: 0,25 г $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ (ч. д. а.) висипають у маленьку термостійку колбочку і доливають 10 мл 10 %-го розчину HCl . Розчиняють станум у ході нагрівання. Використовувати слід свіжо-приготований розчин стануму.

- 0,5 М розчин оцтової кислоти CH_3COOH : 30 мл концентрованої оцтової кислоти (х. ч., лід) розбавляють дистильованою водою до об'єму 1 л. Одержаний розчин містить 3 % оцтової кислоти.

- Розчин HCl , 10 %-й: у мірну літрову колбу з дистильованою водою додають 236,4 мл концентрованої хлоридної кислоти і об'єм доводять до мітки.

- Розчин H_2SO_4 , 10 %-й: у мірній літровій колбі розчиняють 60,6 мл концентрованої сульфатної кислоти в дистильованій воді й об'єм доводять до мітки.

- Індикатор β -динітрофенол (2,6-динітрофенол) (слабко розчинена у воді кристалічна сіль жовтого кольору), насичений водний розчин: 0,25 г солі розчиняють у 100 мл дистильованої води в ході нагрівання до 50 °С. Наступної доби зливають прозорий розчин з кристалів, що випали в осад, і використовують у роботі, а кристали зберігають.

- Розчин NH_4OH , 10 %-й: 422 мл концентрованого аміаку (масова частка 25 %) розбавляють дистильованою водою до об'єму 1 л.

- Стандартний розчин P_2O_5 : наважку калію фосфорнокислого однозамінного KH_2PO_4 0,1917 г (або 0,1690 г NaH_2PO_4) розчиняють у 1 л дистильату. Отриманий основний еталонний розчин містить 0,1 г фосфату P_2O_5 у 1 л. Для приготування стандартного розчину беруть 100 мл основного й розбавляють його до 1 л дистильованою водою. Цей стандартний розчин фосфату містить 0,01 г P_2O_5 у 1 л. За ним складають шкалу робочих стандартних розчинів (табл. 4.6.4).

За допомогою фотоелектроколориметра вимірюють оптичну густину еталонів та розчинів з невідомою концентрацією фосфатів. За показаннями колориметрування еталонних розчинів будують калібрувальний графік: за абсцисою наводять концентрацію фосфат-іона в еталонному розчині, мг/л; за ординатою – оптичну густину для відповідного еталона. Визначивши величину оптичної густини розчину з невідомим вмістом фосфатів, за графіком знаходять відповідну концентрацію P_2O_5 в аналізованій пробі (мг/л).

Таблиця 4.6.4

Шкала стандартних розчинів, що містять фосфат-іон

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією P ₂ O ₅ 0,01 мг/мл (10 мг/л), мл	Концентрація P ₂ O ₅ у готовому робочому еталонному розчині в мірній колбі на 100 мл, мг/л
1	1,0	0,1
2	3,0	0,3
3	5,0	0,5
4	7,0	0,7
5	9,0	0,9
6	11,0	1,1
7	13,0	1,3
8	15,0	1,5
9	17,0	1,7
10	19,0	1,9
11	21,0	2,1

Вміст рухомих фосфатів у ґрунті розраховують за формулами

$$P_2O_5, \text{ мг/л} = C_1 r;$$

$$P_2O_5, \text{ мг/100г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{1000 m} K_{H_2O},$$

де C_1 – концентрація сполуки, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – загальний об'єм розчину-витискувача, який додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить фосфати, з літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Результати аналізу оцінюють за шкалою забезпеченості ґрунту рухомими фосфатами (табл. 4.6.5).

Таблиця 4.6.5

Забезпеченість ґрунтів рухомими фосфатами (за витяжкою Чирікова) щодо певних культур рослин

Забезпеченість	Вміст P ₂ O ₅ , мг на 100 г ґрунту		
	Зернові, зернобобові	Коренеплоди, картопля	Овочеві культури
Дуже низька	< 2	< 5	< 10
Низька	< 5	< 10	< 15
Середня	5–10	10–15	15–20
Висока	> 10	> 15	> 20

Визначення легкорозчинних фосфатів у витяжці за Мачигінієм (для карбонатних ґрунтів)

1. Наважку 5 г повітряно-сухого ґрунту, розтертого й просіяного через сито з діаметром отворів 1 мм переносять у колби на 200–250 мл.

2. Додають 100 мл 1 %-го розчину вуглекислого амонію (NH₄)₂CO₃, закривають пробкою і збовтують на ротаторі протягом 1 год¹.

3. Витяжку фільтрують через беззолний фільтр (або фільтрувальний папір, що не містить домішок фосфору²).

У відфільтрованій витяжці визначають фосфор у модифікації Малюгіна–Хренової.

4. Залежно від вмісту фосфору з фільтрату відбирають 10–20 мл витяжки в мірну колбу на 50 (100) мл.

Якщо витяжка не забарвлена, нейтралізують вуглекислий амоній сульфатною кислотою за β-динітрофенолом до слабкого жовтого забарвлення.

5. До витяжки додають 10 мл 27 %-ї сульфатної кислоти H₂SO₄ і 10 мл молібденовокислого амонію. Вміст колби доводять дистильованою водою майже до мітки. Закривають пробкою, ретельно перемішують, додають 3–4 краплі 1 %-го розчину хлористого стануму SnCl₂ і знову перемішують. Доливають воду до мітки і через 10–15 хв колориметрують.

Витяжки, забарвлені органічною речовиною, попередньо знебарвлюють. Обов'язково проводять контрольний дослід на чистоту реактивів. У фільтраті, який залишився, визначають калій полуменевим фотометром.

Реагенти

• 1 %-й розчин вуглекислого амонію (NH₄)₂CO₃: 10 г солі розчиняють у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

Концентрація (NH₄)₂CO₃ повинна коливатися в межах 0,99–1,01 %. Її перевіряють титруванням 0,1 М розчином HCl у присутності метилоранжу.

• Молібденовокислий амоній (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 2H₂O: 20 г реактиву (х. ч.) розчиняють у 200 мл дистилату під час нагрівання до 60 °C і розчин доводять до 1 л. Слід використовувати свіжоприготований реагент.

• 1 %-й розчин двохлористого стануму SnCl₂ · 2H₂O: 0,1 г SnCl₂ · 2H₂O (ч. д. а.) засипають у маленьку термостійку колбочку й доливають 10 мл 10 %-го розчину HCl. Розчиняють станум у ході нагрівання. Слід користуватися свіжоприготованим розчином стануму.

• 27 %-й розчин сульфатної кислоти H₂SO₄: 150 мл концентрованої сульфатної кислоти (густ. 1,84) доводять до 1 л. Кислоту доливають у розчин невеликими порціями до 500–600 мл води, перемішують. Якщо розчин розігрівся, його

¹ Витяжку бажано готувати при 20–28 °C, оскільки результати дослідів залежать від того, за якої температури ґрунт обробляли вуглекислим амонієм.

² У разі забруднення фільтрів фосфором їх заливають 1–2 %-м розчином (NH₄)₂CO₃, залишають стояти 12–18 год, після чого фільтри промивають 2–3 рази дистильованою водою.

охолоджують і після цього додають наступну порцію води, а потім доводять розчин до 1 л.

- Індикатор β-динітрофенол (2,6-динітрофенол) (слабко розчинена у воді кристалічна сіль жовтого кольору), насичений водний розчин: 0,25 г солі розчиняють у 100 мл дистильованої води в ході нагрівання до 50 °С. Наступної доби зливають прозорий розчин із кристалів, що випали в осад, і використовують у роботі, а кристали зберігають.

- Стандартний розчин P₂O₅. Спосіб його приготування наведений вище в методиці визначення легкорозчинних фосфатів у витяжці за Чиріковим. Замість 0,5 М розчину оцтової кислоти стандартний і робочі розчини готують, використовуючи 1 %-й розчин вуглекислого амонію (NH₄)₂CO₃.

Побудову калібрувального графіка здійснюють так само, як наведено вище, у методиці визначення легкорозчинних (рухомих) фосфатів у витяжці за Чиріковим (для некарбонатних ґрунтів).

Вміст фосфатів у ґрунті розраховують за формулами

$$P_2O_5, \text{ мг/л} = C_1 r;$$

$$P_2O_5, \text{ мг/100г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{1000 m} K_{H_2O},$$

де C₁ – концентрація фосфату, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення (r = 1, якщо розчин не розбавлений);

V₀ – об'єм загальної кількості води (розчину-витискувача), яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить фосфати, з літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

K_{H₂O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Отримавши результати визначення вмісту фосфатів, можна судити про ступінь забезпеченості ґрунту рухомими фосфатами (табл. 4.6.6).

Таблиця 4.6.6

Забезпеченість ґрунтів рухомими фосфатами (за витяжкою Мачигіна) щодо певних культур рослин

Забезпеченість	Вміст P ₂ O ₅ , мг на 100 г ґрунту		
	Зернові, бавовник	Коренеплоди	Овочеві культури
Дуже низька	< 1	< 1,5	< 3
Низька	< 1,5	< 3	< 4,5
Середня	1,5–3	3–4,5	4,5–6
Висока	≥ 3	≥ 4,5	> 6

4.6.4. Визначення різних за доступністю форм калію

Вміст калію в ґрунті звичайно вищий, ніж нітрогену або фосфору й для більшості ґрунтів становить від 1 до 2,5 %. Чим більше в ґрунті дрібнодисперсної фракції, тим більший вміст калію. Середній вміст калію в рослинах – 1–2 %, у тваринах – 0,8–1 % (або відповідно 10–20 і 8–10 мг на 1 г абсолютно сухої маси).

За розчинністю в ґрунті калій можна розподілити на такі категорії:

- *водорозчинний*. Міститься в ґрунтовому розчині у вигляді розчинних у воді солей нітратної, фосфорної, вугільної та інших органічних кислот, його найкраще засвоюють рослини; кількість у ґрунті порівняно мала (2–3 мг на 1 кг ґрунту);

- *обмінний* (легкорозчинний, адсорбційно зв'язаний), легко переходить у розчин в обмін на інші катіони й засвоюється рослиною;

- *необмінний* (калій, який входить до складу безводних силікатів і не витісняється розчином нейтральної солі; він міститься переважно в мінералах). Цю форму калію рослини засвоюють важко. На процеси закріплення калію в необмінній формі впливає наявність у ґрунті органічної речовини, а також його реакція. Руйнування гумусу й підкислення ґрунту (до pH 4,5–5,5) знижують закріплення калію і навпаки.

Під час оцінки забезпеченості ґрунту рухомими формами калію як показник широко застосовують вміст обмінного калію. Іноді визначають також вміст необмінної форми калію як характеристику резерву живлення рослин.

Визначення легкорозчинного рухомого калію у витяжках Мачигіна та Чирікова

Обмінний калій зазвичай добувають із ґрунту за допомогою сольових витяжок, витісняючи калій іоном амонію. У такі витяжки переходить не тільки обмінний калій, але й водорозчинні форми. Оскільки водорозчинних сполук калію в ґрунті мало, істотного значення в живленні рослин як ланки трофічного ланцюга вони не мають.

В агрохімічних лабораторіях обмінні форми калію і фосфору визначають в одній витяжці. У фільтратах витяжок Мачигіна або Чирікова, що залишилися після екстракції рухомих форм фосфатів, встановлюють рухомі форми калію на полуменовому фотометрі. Обов'язково проводять контрольний дослід на чистоту реактивів.

Реагенти

- Хлорид калію KCl (х. ч.). Використовують серію еталонних розчинів хлориду калію KCl.

Основний розчин – 1000 мг калію в 1 л – 1,9067 г KCl х. ч., висушеного за 105 °С, розводять у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

Робочі еталонні розчини з різним вмістом калію готують у такий спосіб: у мірні колби об'ємом 1 л відбирають аліквотні проби основного розчину (мл): 1; 2; 5; 7; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 100 і доводять об'єм дистильованою

водою або розчином з відповідним екстрагентом до 1 л за умов 20 °С. 1 мл такого розчину містить 1 мг К⁺.

Калібрувальні розчини для визначення калію у витяжці Мачигіна готують із використанням 1 %-го розчину вуглекислого амонію (NH₄)₂CO₃, у витяжці Чирікова – 0,5 М розчину оцтової кислоти.

В одержаних розчинах концентрація калію (мг/л) відповідно дорівнює 1; 2; 5; 7; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 100. Розчини зберігають у скляних або поліетиленових пляшках.

Якщо зручно, можна взяти мірні колби меншого об'єму. Для цього в мірні колби об'ємом 100 мл відбирають аліквоту з основного розчину (мл): 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10. Концентрація калію така сама, як наведено вище.

- 1 %-й розчин вуглекислого амонію (NH₄)₂CO₃: 10 г солі розчиняють у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

- 0,5 М розчин оцтової кислоти CH₃COOH: 30 мл концентрованої оцтової кислоти (х. ч., лід) розбавляють дистильованою водою до об'єму 1 л. Одержаний розчин містить 3 % оцтової кислоти.

Для побудови калібрувального графіка виготовлену серію еталонних розчинів із відомим умістом калію фотометрують, фіксуючи показники амперметра. На графіку за абсцисою наводять концентрацію калію в еталонному розчині (мг/л), за ординатою – відлік за шкалою приладу для відповідного розчину. Потім вимірюють інтенсивність випромінювання розчинів з невідомою концентрацією калію і за калібрувальною кривою знаходять вміст калію (мг/л) досліджуваних розчинів. Якщо в пробах витяжок, які аналізують, міститься більше калію, ніж в еталонних розчинах, пробу розбавляють дистильованою водою в необхідну кількість разів і здійснюють повторні вимірювання.

Розрахунки проводять за формулами

$$K^+, \text{ мг/л} = C_1 r ;$$

$$K_2O, \text{ мг/л} = (C_1 r) \cdot 1,2 ;$$

$$K_2O, \text{ мг/100г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100 \cdot 1,2}{1000 m} K_{H_2O} ,$$

де C₁ – концентрація елемента, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення (r = 1, якщо розчин не розбавлений);

V₀ – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить калій, із літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

1,2 – коефіцієнт перерахунку K⁺ на K₂O;

K_{H₂O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Визначення необхідного калію

Необмінний, але доступний для рослин калій визначають у солянокислій витяжці за методикою вчених Ґрунтового інституту ім. В. В. Докучаєва (Москва, Росія).

Хід роботи

1. 5 г наважки повітряно-сухого ґрунту переносять у конічну колбу на 200 мл, додають 50 мл розчину HCl з еквівалентною концентрацією 2 моль/л, накривають лішкою. Колбу ставлять на електроплитку і помірно кип'ятять протягом 30 хв. Втрати рідини обов'язково поповнюють, доливаючи гарячу дистильовану воду до мітки, зробленої термостійким лаком.

2. Після кип'ятіння гарячу рідину відфільтровують, охолоджують і беруть 5 мл для чорноземів і каштанових ґрунтів; 10 мл для сірих лісових, дерново-підзолистих та червоноземних ґрунтів; 20 мл для ґрунтів легкого механічного складу; переносять у мірну колбу на 50 мл, доливають воду до мітки, збовтують і визначають калій на полуменовому фотометрі.

Побудова калібрувального графіка

1. Щоб побудувати графік, готують стандартний розчин. Найкраще для цього взяти фіксанал хлористого калію або його сіль категорії х. ч. Сіль висушують у сушильній шафі за 110–120 °С протягом 1 год, потім охолоджують в ексикаторі.

2. На аналітичних терезах зважують 7,455 г KCl, який переносять у мірну літрову колбу. Об'єм у колбі доводять до мітки розчином HCl з еквівалентною концентрацією 2 моль/л, добре перемішують. Це й буде 0,1 М розчин KCl. Із нього готують стандартний розчин калію. Для цього в мірну колбу на 1 л наливають із бюретки 25,6 мл 0,1 М розчину хлориду калію, доливають до мітки розчин HCl з еквівалентною концентрацією 2 моль/л, добре перемішують. Такий розчин містить у 1 л 0,1908 г KCl, що відповідає концентрації 0,1 г/л K⁺.

3. Із одержаного розчину, що містить 0,1 мг/мл калій-іон, готують серію розчинів у мірних колбах на 100 мл, застосовуючи дані, наведені нижче (табл. 4.6.7). Мірні колби на 100 мл наповнюють до мітки також 2 М розчином HCl. Виготовлені еталони фотометрують, фіксуючи показники міліамперметра. Дані записують у лабораторному зошиті. Далі будують графік, відкладаючи на осі абсцис показання приладу, на осі ординат – відповідні ім концентрації розчину.

Таблиця 4.6.7

Шкала стандартних розчинів, що містять калій-іон

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією 0,1 мг/мл K ⁺ , мл	Концентрація K ⁺ у готовому запасному розчині в мірній колбі на 100 мл, мг/л
1	1,0	1,0
2	3,0	3,0

Закінчення табл. 4.6.7

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією 0,1 мг/мл K^+ , мл	Концентрація K^+ у готовому запасному розчині в мірній колбі на 100 мл, мг/л
3	5,0	5,0
4	7,0	7,0
5	9,0	9,0
6	11,0	11,0
7	13,0	13,0
8	15,0	15,0
9	17,0	17,0
10	19,0	19,0
11	21,0	21,0

Вміст необхідних форм калію обчислюють за формулою

$$K_2O, \text{ мг/100г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100 \cdot 1,2}{1000 m} K_{H_2O},$$

де C_1 – кількість калію, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – об'єм мірної колби, у яку переносять 5, 10 або 20 мл витяжки, мл;

m – наважка ґрунту, г;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить калій, із літрів на мілілітри;

1,2 – коефіцієнт перерахунку K^+ на K_2O ;

K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Реагенти

- Розчин HCl з еквівалентною концентрацією 2 моль/л. У мірну літрову колбу з дистильованою водою додають 164 мл концентрованої хлоридної кислоти (х. ч.) і об'єм доводять до мітки.

- Хлористий калій KCl (х. ч.).

4.7. ОСОБЛИВОСТІ ҐРУНТОВО-ПОГЛИНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗОК ІЗ ҐРУНТОВИМИ ТВАРИНАМИ. ОБМІННІ ОСНОВИ І КИСЛОТНІСТЬ ҐРУНТУ

Обмінні основи. За К. К. Гедройцем, основним носієм іонообмінної поглинальної здатності ґрунтів є ґрунтово-поглинальний комплекс, який розглядають як сукупність мінеральних, органічних і органо-мінеральних компонентів твердої частини ґрунту, що має іонообмінну здатність.

Іонообмінна поглинальна здатність – це фундаментальна властивість ґрунту, а іонообмінні (головним чином катіонообмінні¹) процеси, за допомогою яких реалізується ця здатність, – свого роду універсальні фізико-хімічні механізми, що регулюють перерозподіл іонів між поверхнею ґрунтових часток і ґрунтовым розчином. Механізми іонного обміну динамічні та швидко реагують на зміну зовнішніх умов, складу твердої і живої фаз ґрунту в результаті природного й антропогенного впливу.

Катіонообмінні властивості (поглинальну здатність) ґрунтів обумовлюють:

1) спрямованість ґрунтових процесів (наприклад, формування профілів засолених ґрунтів);

2) особливості фізичних властивостей ґрунту (наприклад, зменшення водостійкості ґрунтових агрегатів за умов збільшення частки обмінного натрію);

3) хімічні особливості ґрунту (наприклад, катіони кальцію виконують функції сполучних ланок між органічною речовиною і поверхнею ґрунтових часток, утворюючи органо-мінеральні сполуки; поглинання ґрунтами йонів натрію й інших лужних металів призводить до руйнування органо-мінеральних сполук і розчинення органічної речовини);

4) родючість ґрунтів, яка відіграє важливу роль у кореновому живленні рослин;

5) реакції іммобілізації токсичних речовин у ґрунтах.

Діагностичною ознакою в класифікації ґрунтів є склад обмінних катіонів.

Обмінні катіони – найбільш хімічно реактивна частина твердої фази ґрунту. Вони становлять джерело, з якого поповнюються основи ґрунтового розчину.

Відзначимо, що вміст обмінних основ у ґрунтах, як правило, зменшується в такому порядку: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$. Вміст натрію може бути більший або менший вмісту калію.

Чорноземні ґрунти насичені йонами кальцію й магнію, у той час як для засоленних ґрунтів характерне переважання в ґрунтово-поглинальному комплексі йонів натрію й калію, для підзолистих ґрунтів – гідрогену й алюмінію.

¹ Аніонообмінна здатність ґрунтів істотно нижча, ніж катіонообмінна. Серед аніонів найбільш вивчена поведінка фосфатів, які широко застосовують як добрива. Обмінна сорбція аніонів характерна для деяких кислих ґрунтів, багатих на колоїдні форми полоторних оксидів.

Ґрунти, у складі обмінних катіонів яких у значній кількості наявні йони натрію, мають лужну реакцію. Це негативно впливає на стан колоїдів і ріст рослин. Так, насичені натрієм колоїди легко пептизуються; ґрунти, що їх містять (солонці, солонцюваті ґрунти), погано структуровані, мають несприятливі водно-фізичні властивості: високу в'язкість, підвищену щільність, слабкі водопроникність і водовіддачу, низьку доступність ґрунтової вологи. За наявності в ґрунтовому поглинальному комплексі в складі обмінних катіонів значної кількості гідрогену та алюмінію колоїди легко руйнуються в результаті кислотного гідролізу. Такі ґрунти безструктурні.

Ґрунтові безхребетні тварини, яких можна побачити на засоленому ґрунті, не використовують його як середовище існування, а лише концентруються на його поверхні. Так, улітку за умов підвищення зовнішньої температури та зниження вологості відбувається розтріскування верхнього шару ґрунту й утворюються різної глибини порожнини, які представники надґрунтових безхребетних використовують як схованки, а деякі хижакі – як засідки під час полювання.

Кислотність ґрунту. Нагадаємо, що кислотність ґрунту обумовлена наявністю в ньому йонів гідрогену, алюмінію та мангану. Кількісно її можна виразити величиною pH . У разі нейтральної реакції ґрунтового розчину $pH = 7$, кислоти – $pH < 7$, а лужної – $pH > 7$.

Кислотність буває актуальною і потенційною.

Актуальна кислотність зумовлена йонами гідрогену, які є в ґрунтовому розчині. Вона залежить від наявності в ґрунтовому розчині вільних мінеральних та органічних кислот, гідролітично кислотних солей та ступеня їх дисоціації. Визначають актуальну кислотність, вимірюючи pH водної витяжки.

Потенційна кислотність більша за актуальну, її визначають за поглинутими ґрунтом йонами гідрогену, мангану та алюмінію. Сумарно вона складається з йонів гідрогену, мангану та алюмінію, наявних у ґрунтовому розчині (актуальна кислотність) і поглинутих вбирним ґрунтовим комплексом. Потенційну кислотність визначають вимірюванням pH сольових витяжок. Залежно від того, якою сіллю обробляють ґрунт, розрізняють обмінну й гідролітичну кислотність.

Обмінну кислотність визначають у ході обробки ґрунту розчином нейтральної солі KCl , а гідролітичну – у витяжці гідролітичної солі CH_3COONa .

Коли ґрунт обробляють розчином CH_3COONa , у розчин з ґрунтового-поглинального комплексу переходить більше йонів гідрогену, алюмінію та мангану, ніж у процесі взаємодії ґрунту з KCl , тому *гідролітична кислотність завжди більша обмінної*. Їх вимірюють у мілімоль йонів гідрогену на 100 г абсолютно сухого ґрунту.

Отже, актуальна кислотність менша за обмінну, але остання менша за потенційну. Коли, наприклад, у ґрунт вносять вапно насамперед нейтралізується актуальна кислотність, потім – обмінна і гідролітична. Для нейтралізації актуальної кислотності потрібні невеликі дози вапна, проте в разі докорінного поліпшення ґрунтів вони значно збільшуються і зростають майже пропорційно кислотності.

4.7.1. Визначення обмінних форм хімічних сполук кальцію та магнію

Метод Гедройца. Метод призначений для встановлення складу обмінних катіонів у кислотних, нейтральних та лужних ґрунтах, які не містять карбонатів і гіпсу. Якщо останні наявні, то визначити обмінні форми сполук кальцію і магнію неможливо. Метод потребує обов'язкової корекції кількості екстрагованих катіонів на катіони легкорозчинних солей, що перейшли у витяжку.

Хід роботи

1. Наважку ґрунту поміщають на фільтр, вставлений у лійку. Наважка для глинистих і багатих гумусом ґрунтів становить 2–3 г, суглинистих – 5 г, супіщаних і піщаних – 10–20 г.

2. Ґрунт промивають 1 М розчином хлориду амонію NH_4Cl із $pH = 7$ до об'єму 200–250 мл.

3. Проводять аналіз на повноту витіснення катіонів: 1–2 мл фільтрату з лійки збирають у пробірку, доливають 1 мл хлоридно-амонійного буфера з $pH = 10$, додають декілька крупинок солянокислого гідроксиламіну й 2–3 краплі 1 %-го розчину Na_2S , потім додають індикатор хромоген чорний. Якщо колір розчину в пробірці (фільтрату) блакитного (синього) кольору, то обробку (витіснення катіонів) розчином NH_4Cl припиняють. Якщо розчин рожевий – витіснення продовжують.

4. Доводять об'єм фільтрату дистилатом до 200–250 мл і визначають суму обмінного кальцію та магнію, обмінний кальцій, калій та натрій. Магній знаходять за різницею між вмістом суми Ca^{2+} і Mg^{2+} та вмістом обмінного Ca^{2+} .

Сума обмінних основ Ca^{2+} і Mg^{2+}

1. Переносять 25–50 мл фільтрату в конічну колбу місткістю 100 (250) мл. Додають дистильовану воду до об'єму 100–150 мл, 2–3 краплі 1 %-го розчину Na_2S і декілька крупинок гідроксиламіну для зв'язування йонів, що заважають визначенню.

2. Додають 10 мл хлоридно-амонійного буфера ($pH = 10$), потім – індикатор хромоген чорний до появи винного кольору.

3. Титрують розчином комплексу III з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л до переходу кольору в синьо-блакитний.

Обмінний Ca^{2+}

1. Беруть 25–50 мл фільтрату в конічну колбу на 100 (250) мл. Додають 2–3 краплі 1 %-го розчину Na_2S і декілька крупинок солянокислого гідроксиламіну.

2. Доливають 25 мл 10 %-го $NaOH$ (до pH фільтрату не менше 12,5), потім додають індикатор мурексид. Розчин буде мати яскраво-рожевий колір. Якщо відразу з'явиться фіолетове забарвлення, то кальцій міститься в слідових (дуже малих) кількостях.

3. Титрують розчином комплексу III з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л до переходу розчину у фіолетовий колір. Одержують загальний кальцій, від якого необхідно відняти кальцій, знайдений у водній витяжці.

Вміст еквівалентів кальцію і магнію розраховують за рівняннями

$$\text{Ca}^{2+}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}} ;$$

$$\text{Mg}^{2+}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{(V_2 - V_1) V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}} ,$$

де V_1 і V_2 – об'єми комплексону III, витрачені відповідно на титрування кальцію і суми кальцію і магнію, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація комплексону III, моль/л;

V_0 – загальний об'єм води, яку додавали до ґрунту, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

$V_{\text{ал}}$ – об'єм аліквоти, мл;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Реагенти

- Комплексон III з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л: 3,722 г комплексону III розчиняють у дистильованій воді й доводять водою точно до об'єму 1 л.

- 10 %-й NaOH (або KOH): 100 г NaOH (х. ч.) розчиняють у дистильованій воді й доводять водою точно до об'єму 1 л.

- 1 М розчин хлористого амонію NH_4Cl ($pH = 7$): 53,5 г NH_4Cl розчиняють у дистильованій воді й доводять об'єм до 1 л. Доводять pH до 7 одиниць за індикаторним папірцем, додаючи по краплях необхідну кількість аміаку NH_4OH .

- Хлоридно-амонійний буфер із $pH = 10$: на 100 мл дистилату беруть 25 г NH_4Cl (х. ч.) і 200 мл 25 %-го розчину NH_4OH , розчин доводять до 1 л дистилату. (Після тривалого збереження pH буфера необхідно перевірити.)

- Індикатори:

- мурексид, тверда суміш із NaCl (1:200–1:500) – змішують 0,2 г мурексиду зі 100 г NaCl і розтирають у порцеляновій ступці у тонкий порошок з однорідним забарвленням;

- хромоген чорний (еріохром чорний Т) – розтирають у ступці 0,25 г хромогену з 25 г солі NaCl (або KCl) до однорідно забарвленого порошку. Зберігають у темній склянці.

У карбонатних горизонтах обмінні кальцій і магній визначають за методом Шмука. Але розчинення CaCO_3 змінюється не пропорційно змінненню об'єму профільтрованого розчину-витискувача, а залежить від концентрації в розчині йонів кальцію. Реальний розчин карбонатів у перших і наступних порціях фільтрату буде неоднаковий. Тому вирахування величини розчинності CaCO_3 , отриманої в останніх порціях фільтрату, з кількості кальцію у перших порціях призводить до помилкового значення вмісту обмінного кальцію.

4.7.2. Методика визначення обмінних форм хімічних сполук калію та натрію

Після витіснення обмінних основ в отриманому фільтраті визначають обмінні калій та натрій за допомогою полуменевого фотометра.

Еталонні розчини для аналізу витяжок готують на основі 1 М розчину NH_4Cl . Для фільтратів, які концентрували випарюванням, еталони готують на відповідних водних розчинах KCl і NaCl. Способи приготування градуювальних розчинів із калієм наведені в розділі 4.6.4, з натрієм – викладені нижче.

Побудова калібрувального графіка для визначення натрію

Використовують серію еталонних розчинів хлористого натрію NaCl. Спочатку готують *основний розчин* – 1000 мг натрію в 1 л – розчиняють 2,5421 г NaCl (х. ч.), висушеного за 105 °С, у 1 М розчині NH_4Cl й доводять об'єм за 20 °С до 1 л. Розчин зберігають у поліетиленовій пляшці, 1 мл такого розчину містить 1 мг Na^+ .

Робочі еталонні розчини з різним вмістом натрію готують у такий спосіб: у мірні колби об'ємом 1 л відбирають аліквотні проби основного розчину: 1; 2; 5; 7; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 100 мл і доводять об'єм дистильованою водою до 1 л за умов 20 °С. 1 мл такого розчину містить 1 мг Na^+ . В одержаних розчинах концентрація натрію відповідно дорівнює 1; 2; 5; 7; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 100 мг/л. Розчини зберігають у скляних або поліетиленових пляшках.

Якщо зручно, можна взяти мірні колби меншого об'єму. Для цього в мірні колби місткістю 100 мл відбирають аліквоту з основного розчину: 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10 мл і доводять об'єм дистильованою водою до мітки. Концентрація натрію така сама, як наведено вище.

Методом фотометрії натрій визначають у низькотемпературному полум'ї суміші “повітря–бутан”. Інтенсивність випромінювання вимірюють за спектральною лінією з довжиною хвилі 589 нм. Для побудови калібрувального графіка виготовлену серію еталонних розчинів із відомим вмістом калію фотометрують, фіксуючи показники амперметра. На графіку за абсцисою наводять концентрацію калію в еталонному розчині (мг/л), за ординатою – відлік за шкалою приладу для відповідного розчину. Потім вимірюють інтенсивність випромінювання розчинів із невідомою концентрацією калію і за калібрувальною кривою знаходять вміст натрію (мг/л) досліджуваних розчинів. Якщо в аналізованому розчині міститься більше натрію, ніж в еталонних розчинах, пробу розбавляють дистильованою водою в необхідну кількість разів і здійснюють повторні вимірювання.

Вміст калію розраховують за формулами

$$\text{K}^+, \text{ мг/л} = C_1 r ;$$

$$\text{K}^+, \text{ ммоль/л} = C_1 r / 39 ;$$

$$\text{K}^+, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{39 \cdot 1000 m} K_{\text{H}_2\text{O}} ;$$

$$K^+, \% = \text{ммоль}/100\text{г ґрунту} \cdot 39 \cdot 0,001,$$

де C_1 – концентрація елемента, знайдена за калібрувальним графіком;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

39 – молярна еквівалентна маса калію, г/моль;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить калій, із літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт;

0,001 – коефіцієнт перерахунку кількості речовини із моль на мілімоль.

Вміст натрію розраховують за рівняннями

$$Na^+, \text{ мг/л} = C_1 r ;$$

$$Na^+, \text{ ммоль/л} = C_1 r / 23 ;$$

$$Na^+, \text{ ммоль}/100\text{г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{23 \cdot 1000 m} K_{H_2O} ;$$

$$Na^+, \% = \text{ммоль}/100\text{г ґрунту} \cdot 23 \cdot 0,001,$$

де C_1 – концентрація елемента, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

23 – еквівалентна маса натрію, г/моль;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить натрій, із літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт;

0,001 – коефіцієнт перерахунку кількості речовини із моль на мілімоль.

Існують також інші методи визначення обмінних форм хімічних сполук натрію та калію:

– метод *Пфеффера* в модифікації Молодцова й Ігнатової;

– метод *Такера*;

– метод *Меліха*, за яким визначають склад обмінних основ у карбонатних ґрунтах, що не містять легкорозчинних карбонатів (соди), сульфатів і гіпсу;

– метод *Шолленберга* з використанням такого витіснювача як 1 М розчин оцтовокислого амонію з pH 7,0 (обробка кислих, нейтральних, лужних ґрунтів, що

не містять карбонатів і гіпсу) тощо. Усі ці методи викладені в спеціальній літературі.

За вмістом обмінного натрію оцінюють ступінь солонцюватості ґрунтів. За класифікацією Антипова-Каратаєва ґрунти за ступенем солонцюватості, тобто за кількістю обмінного натрію у відсотках від суми обмінних катіонів (або від величини ємності поглинання), поділяють на такі групи:

солонець	понад 20 %;
солонцюватий ґрунт	10–20 %;
слабкосолонцюватий ґрунт	5–10 %.

Ґрунти, що містять обмінний натрій кількістю 5 % (і менше) від величини ємності поглинання, не вважають солонцюватими, тому що натрій у зазначеній кількості не викликає пептизацію ґрунтових колоїдів.

4.7.3. Обмінна кислотність ґрунту

Визначення обмінної кислотності (за методом Дайкухара)

Величину обмінної кислотності встановлюють титруванням сольової витяжки лугом. Витяжку готують збовтуванням протягом 1 год ґрунтової суспензії в співвідношенні ґрунт–розчин – 1 : 2,5.

У зразках ґрунтів із $pH < 5$ поєднують визначення обмінної кислотності й рухомого алюмінію.

Визначення обмінної кислотності дозволяє виявити кількісний вміст у ґрунті найбільш рухомих H -іонів, іонів алюмінію та ступінь участі їх у гідролітичній кислотності. За величиною обмінної кислотності обчислюють дози вапна для вапнування торф'яних і торф'яно-болотних ґрунтів.

Хід роботи

1. На технічних терезах відважують 40 г ґрунту, пропущеного через сито з отворами діаметром 1 мм, і поміщають у колбу об'ємом 250 мл.

2. Доливають 100 мл розчину KCl з еквівалентною концентрацією 1,0 моль/л, закривають добре вимитими й прокип'яченими гумовими пробками, збовтують 1 год на ротаторі.

У разі масових аналізів тривале збовтування замінюють трихвилинним із подальшим добовим настоюванням. У цьому випадку фільтрування може бути замінене відбором проб прозорої відстояної витяжки для титрування лугом.

У ході фільтрування сольової витяжки варто використовувати беззольні фільтри діаметром 11–12,5 см (біла стрічка). Перші порції фільтрату (10–20 мл) викидають. Витяжку відфільтровують повністю й тільки після цього приступають до титрування.

3. Беруть 25–50 мл отриманого розчину, поміщають у конічну колбу ємністю 250 мл, додають 2–3 краплі фенолфталеїну й титрують на холоді розчином $NaOH$ з еквівалентною концентрацією 0,1 моль/л до появи рожевого забарвлення,

що не зникає протягом 1 хв (можна проводити титрування за індикатором бромотимоловим синім до блакитного забарвлення).

За кількістю луґу, витраченого на титрування, обчислюють величину обмінної кислотності.

У зв'язку з тим, що однократною обробкою ґрунту розчином нейтральної солі добувають не весь обмінний гідроген, а тільки його частину, застосовують коефіцієнт 1,75, на який множать отриману величину, щоб одержати уявлення про так звану повну обмінну кислотність. Якщо даний коефіцієнт, який називають поправкою на неповноту витіснення гідрогену, уведений у розрахунок, це має бути зазначено, оскільки багато дослідників його не застосовують.

Обмінну кислотність (ммоль/100 г ґрунту) розраховують за рівнянням

$$H_{\text{об}} = \frac{V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} 1,75 K_{\text{H}_2\text{O}},$$

де V_1 – об'єм NaOH, витрачений на титрування, мл;

V_0 – загальний об'єм води, яку додавали до ґрунту, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація розчину NaOH;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

$V_{\text{ал}}$ – об'єм аліквоти, мл;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт;

1,75 – поправка на неповне витіснення іона гідрогену.

Реагенти

- Розчин NaOH з еквівалентною концентрацією 0,1 моль/л: розчин готують із фіксаналу або беруть 4 г NaOH (х. ч.) і розчиняють у воді, що не містить CO_2 , і потім доводять об'єм дистильованою водою до 1 л. Концентрацію розчину встановлюють за фіксаналом H_2SO_4 .

- Розчин KCl з еквівалентною концентрацією 1,0 моль/л (pH 5,6–6,0): 75 г KCl розчиняють у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

- Індикатори:

- фенолфталеїн, 1 %-й розчин: 0,5 (1) г фенолфталеїну розчиняють у 30 (60) мл 96 %-го етилового спирту й об'єм доводять дистилатом до 50 (100) мл або замість фенолфталеїну використовують бромотимоловий синій;

- бромотимоловий синій, 0,1 %-й розчин у 20 %-му етиловому спирті: змішують 20 частин 96 %-го спирту з 76 частинами дистильованої води. Отримують 20 %-й розчин етилового спирту. Потім розчиняють 0,1 г бромотимолового синього зі 100 мл 20 %-го розчину спирту.

Визначення рухомого алюмінію й обмінної кислотності (за Соколовим)

Надлишкова кількість Al^{3+} у ґрунтовому розчині токсично діє на більшість рослин і мікроорганізмів, тому кількісний облік рухомого алюмінію в кислих ґрунтах необхідний, щоб виявити його частку в показнику обмінної кислотності та вжити заходів щодо його знешкодження. Метод Соколова дозволяє водночас із Al^{3+} визначити величину обмінної кислотності.

Хід роботи

1. На технічних терезах відважують 100 г ґрунту, просіяного через сито з діаметром отворів 1 мм, і поміщають у колбу місткістю 500 мл (у разі визначення рухомого алюмінію в торфах беруть співвідношення торфу й води 1 : 25).

2. Доливають 250 мл розчину KCl з еквівалентною концентрацією 1,0 моль/л, збовтують протягом 1 год, потім фільтрують через сухий беззольний фільтр.

3. Беруть піпеткою дві проби прозорого фільтрату по 50 мл кожна й поміщають у конічні колбочки ємністю 250 мл. Вміст обох колбочок нагрівають до кипіння для видалення CO_2 .

4. В одну з колбочок додають 2–3 краплі фенолфталеїну й титрують гарячий розчин розчином NaOH з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л до слабкого рожевого забарвлення, що не зникає протягом 1 хв (*перше титрування*). Кількість луґу, затрачена на титрування цієї проби, відповідає сумарному вмісту $\text{H}^+ + \text{Al}^+$, тобто загальній обмінній кислотності.

5. В іншу колбочку додають 3 мл 3,5 %-го розчину фториду натрію для зв'язування алюмінію в комплексний іон. Вміст колбочки добре перемішують, дають осадку відстоятися приблизно 5 хв і титрують розчин тим самим луґом, як у першому випадку (*друге титрування*). За цим титруванням визначають кількість H^+ -іонів, що перейшли безпосередньо в розчин.

6. За різницею мілілітрів титрованого розчину NaOH, витрачених на перше й друге титрування, знаходять вміст іонів гідрогену, еквівалентних рухомому алюмінію.

Звичайно на друге титрування луґу витрачають менше, ніж на перше. Коли рухомий алюміній у ґрунті відсутній, на перше й друге титрування витрачають однакову кількість луґу.

Вміст обмінної кислотності й рухомого алюмінію обчислюють у мілімоль на 100 г абсолютно сухого ґрунту.

$$H_{\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}} = \frac{V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} 1,75 K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$H_{\text{H}^+} = \frac{(V_1 - V_2) V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} 1,75 K_{\text{H}_2\text{O}},$$

де V_1 – об'єм NaOH, витрачений на титрування обмінної кислотності, мл;

V_2 – об'єм NaOH, витрачений на титрування обмінного алюмінію, мл;

V_0 – загальний об'єм води, яку додавали до ґрунту, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація розчину NaOH, моль/л;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

$V_{\text{ал}}$ – об'єм аліквоти, мл;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт;

1,75 – поправка на неповне витіснення іона гідрогену.

Реагенти

- Розчин NaOH з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л: 0,8 г гідроксиду розчиняють у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

- Розчин KCl з еквівалентною концентрацією 1,0 моль/л (pH 5,6–6,0): 75 г KCl розчиняють у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

- Розчин фториду натрію NaF, 3,5 %-й: 3,5 г фториду натрію (х. ч.) розчиняють у 100 мл дистильованої води без CO_2 . Розчин повинен давати з фенолфталеїном слабке рожеве забарвлення. Якщо таке забарвлення відсутнє, до розчину додають по краплях луг, а якщо забарвлення явно рожеве, надлишок лугу нейтралізують розчином 10 %-го HCl.

- Фенолфталеїн, 1 %-й розчин: 0,5 (1) г фенолфталеїну розчиняють у 30 (60) мл 96 %-го етилового спирту й об'єм доводять дистильатом до 50 (100) мл.

Визначення обмінного гідрогену (за Гедройцем)

Обмінний гідроген витісняють багаторазовою обробкою ґрунту 1,0 М розчином BaCl_2 до повного витіснення H -іонів, здатних до обміну в умовах досліду, тобто за pH 6,5. H -іони, що перейшли в розчин, визначають титруванням лугом. Метод дозволяє одержати прямі дані кількісного вмісту обмінного гідрогену без застосування умовного множника на неповноту його витіснення. Вміст обмінного гідрогену, тобто величина обмінної кислотності, характеризує ненасиченість ґрунтів основами і є показником ступеня опідзолення ґрунтів.

Хід роботи

1. Ґрунт масою 1–10 г, просіяний через сито з отворами діаметром 1 мм, поміщають у склянку ємністю 100–150 мл, доливають невелику кількість розчину BaCl_2 з еквівалентною концентрацією 1 моль/л перемішують і після нетривалого відстоювання декантують через щільний беззольний фільтр, поступово переносячи на нього ґрунт.

У випадку сильноокислих зразків (лісова підстилка або торф'янистий ґрунт) наважку беруть не більше 1–5 г. У разі слабкої ненасиченості наважка ґрунту має бути 25 г і більше.

2. Фільтрат збирають у конічну колбу ємністю 500 мл. Коли об'єм фільтрату буде дорівнювати 400 мл, приступають до титрування першої порції фільтрату. Його треба відтитрувати в день визначення.

3. У фільтрат додають 10–15 крапель розчину бромотимолового синього й титрують розчином NaOH з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л до появи синього забарвлення. Оскільки забарвлення індикатора швидко зникає, додають ще 1–2 краплі розчину NaOH, щоб упевнитися в закінченні титрування.

Якщо на титрування витрачають більше 1 мл розчину NaOH, продовжують промивання ґрунту розчином BaCl_2 .

4. Із колби виливають відтитровану першу порцію фільтрату. Колбу обполіскують два рази розчином BaCl_2 і збирають у неї фільтрат, продовжуючи промивання.

5. Коли об'єм фільтрату досягне приблизно 300–400 мл, титрування повторюють у тих самих умовах, як і перший раз. Повторне титрування ведуть доти, поки кількість витраченого розчину NaOH перевищує 1 мл. Якщо на титрування зазначеного об'єму витрачається менше 1 мл 0,02 М розчину NaOH, промивання ґрунту розчином BaCl_2 припиняють.

6. Підсумовують кількість NaOH, витраченого на титрування всіх порцій фільтрату, і на підставі одержаної величини обчислюють вміст H^+ у ґрунті.

Приклад обчислення. Обмінний гідроген визначали в наважці 5,0000 г повітряно-сухого ґрунту. Під час першого титрування фільтрату витрачено 8,2 мл розчину NaOH з концентрацією 0,0214 моль/л, під час другого – 1,8 мл, третього – 0,6 мл. Усього $8,2 + 1,8 + 0,6 = 10,6$ мл 0,0214 моль/л розчину NaOH.

Кількість обмінного гідрогену дорівнює

$$\frac{\Sigma V C_{\text{екв}} \cdot 100}{m} K_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ ммоль/100 г абсолютно сухого ґрунту,}$$

де ΣV – сума об'ємів розчину NaOH, витрачених на титрування, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація розчину NaOH, моль/л;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – маса наважки ґрунту, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Реагенти

- Розчин хлориду барію з еквівалентною концентрацією 1,0 моль/л: 122 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ч. д. а.) на 1 л розчину.

У випадку масового визначення готують 10–20 л розчину. Він повинен мати pH 6,5. У разі більш кислої реакції додають 1–2 краплі баритової води ($3,3$ г $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ на 100 г води). Якщо розчин має більш лужну реакцію, його підкисляють 1–2 краплями 10 %-го розчину HCl. Величину pH розчину визначають за універсальним індикаторним папером.

- Розчин NaOH (або KOH) з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л, приготований з додаванням BaCl_2 для зв'язування CO_2 .

- Розчин NaOH з еквівалентною концентрацією 0,5 моль/л: 20 г NaOH розчиняють дистильованою водою в мірній колбі об'ємом 1 л до мітки.

• Розчин HCl, 10 %-й: 23,6 мл концентрованої хлоридної кислоти розбавляють дистильованою водою до об'єму 100 мл.

• Розчин бромотимолового синього: 0,1 г порошку індикатора розтирають в агатовій ступці з 3,2 мл розчину NaOH з еквівалентною концентрацією 0,5 моль/л до повного розчинення, додають 10–15 мл води й переносять розчин у мірну колбу об'ємом 250 мл. Доводять розчин дистильованою водою до мітки, перемішують і виливають для зберігання в склянку з темного (коричневого) скла або ставлять у темному місці.

4.7.4. Гідролітична кислотність ґрунту

Визначення гідролітичної кислотності

1. У суху колбу об'ємом 250 мл поміщають наважку ґрунту 40 г, пропущеного через сито з отворами діаметром 1 мм. (Співвідношення ґрунт – розчин становить 1:2,5.)

2. У колбу доливають 100 мл розчину CH₃COONa з еквівалентною концентрацією 1 моль/л і збовтують протягом 1 год. Годинне збовтування може бути замінено трихвилинним з подальшим настоюванням протягом 18–20 год з періодичним (4–5 разів) збовтуванням суспензії. Потім гідролітичну кислотність можна визначити двома способами: виміром *pH* суспензії і титруванням аліквоти фільтрату (витяжки) розчином NaOH.

Визначення гідролітичної кислотності за величиною *pH*

У чистий сухий стаканчик ємністю 50 мл поміщають близько 20 мл суспензії, у неї опускають скляний електрод і електрод порівняння і зчитують величину *pH* зі шкали приладу не раніше, ніж через 1 хв після занурення електродів.

Величину гідролітичної кислотності (H_T) знаходять за величиною *pH* суспензії, застосовуючи спеціальну таблицю (Див.: Воробьева, Л. А. Химический анализ почв [Текст] / Л. А. Воробьева. – М., 1998). Це визначення справедливе в ході аналізу мінеральних горизонтів для співвідношення ґрунту й 1,0 М розчину ацетату натрію, яке дорівнює 1:2,5, для органічних горизонтів – 1:150.

Визначення гідролітичної кислотності титруванням витяжки

1. Суспензію збовтують круговими рухами й фільтрують через сухий складчастий фільтр. Перші порції (близько 10 мл) фільтрату відкидають. Якщо потім під час фільтрування одержують мутний розчин, його фільтрують знову.

2. Аліквоту фільтрату 50 мл поміщають у конічну колбу об'ємом 250 мл, додають 2–3 краплі фенолфталеїну й титрують розчином NaOH з еквівалентною концентрацією 0,02–0,1 моль/л до слабого рожевого забарвлення, що не зникає протягом 1 хв.

Гідролітичну кислотність (ммоль/100 г ґрунту) розраховують за рівнянням

$$H_T = \frac{V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} 1,75 K_{H_2O},$$

де V_1 – об'єм NaOH, витрачений на титрування, мл;

V_0 – загальний об'єм розчину ацетату натрію, який додавали до ґрунту, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація розчину NaOH, моль/л;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

$V_{\text{ал}}$ – об'єм аліквоти витяжки, мл;

K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Якщо одержаний результат множать на 1,75 для компенсації неповного витіснення із ґрунтів кислотних компонентів у процесі однократної обробки ґрунту екстрагуючим розчином, у коментарі до результатів аналізу роблять відповідну вказівку.

Реагенти

• 0,1 М розчин NaOH: 4 г NaOH розчиняють у дистильованій воді, доводячи об'єм до 1 л.

• 1,0 М розчин CH₃COONa із *pH* 8,3. Наважку ацетату натрію 82,0 г CH₃COONa або 136,0 г CH₃COONa·3H₂O розчиняють у дистильованій воді (якщо необхідно, фільтрують), доводячи об'єм до 1 л і вимірюють *pH*. Величину *pH* доводять до 8,3 розчинами CH₃COOH або NaOH з масовою часткою 10 %. Контроль *pH* розчину може бути здійснений за фенолфталеїном. Розчин ацетату натрію внаслідок додавання фенолфталеїну повинен мати слабе рожеве забарвлення.

4.7.5. Обчислення ступеня насиченості ґрунтів основами

Ступенем насиченості ґрунтів основами називають відношення суми обмінних основ до ємності поглинання. Він вказує, яку частину всієї ємності поглинання займають обмінні основи. Інакше кажучи, ступінь насиченості свідчить про те, якою мірою ґрунтовий поглинальний комплекс насичений обмінними основами.

Ступінь насиченості виражають у відсотках і позначають літерою *V*. У ґрунтах, які не містять поглинутого водню (сіроземи, каштанові, бурі ґрунти, а також карбонатні чорноземи), він дорівнює 100 %. У ґрунтах із гідролітичною кислотністю ступінь насиченості менше 100 %. Чим більше в ґрунті поглинутого водню, тим менша насиченість основами. Особливо великого значення надають цьому показнику в процесі обґрунтування таких заходів, як вапнування й фосфорування ґрунтів.

Ступінь насиченості ґрунтів основами обчислюють за формулою

$$V = S \cdot 100 / (S + H_T),$$

де *V* – ступінь насиченості ґрунтів основами, %;

S – сума обмінних основ, обчислена за арифметичною сумою обмінних катіонів або визначена за методом Каппена–Гільковіца, ммоль/100 г абсолютно сухого ґрунту;

H_T – гідролітична кислотність, ммоль/100 г абсолютно сухого ґрунту;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки.

4.8. АНАЛІЗ ЛЕГКОРОЗЧИННИХ СОЛЕЙ ҐРУНТУ

Визначення складу водорозчинних солей і загальну оцінку засолення ґрунтів та субстратів у більшості випадків здійснюють за методом водної витяжки. Метод заснований на розчиненні легкорозчинних солей п'ятикратним за відношенням до маси ґрунту об'ємом дистильованої води. Воду додають до наважки ґрунту, суспензію збовтують і фільтрують. Фільтрат і є *водною витяжкою*. Витяжок не можна ототожнювати з ґрунтовим розчином.

Найбільш вичерпну характеристику засоленому ґрунту можна дати за визначенням у водній витяжці майже всього складу легкорозчинних солей (щільний та прожарений залишок, аніони CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} та катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Результати аналізу водної витяжки дозволяють отримати відповідь на такі питання:

1. Який загальний вміст легкорозчинних солей у ґрунті?
2. Який якісний та кількісний склад цих солей?
3. Чи наявні в ґрунті токсичні солі та яка їх концентрація?
4. На якій стадії засолення перебуває досліджуваний ґрунт?

Одержані дані виражають у відсотках із точністю до 0,001 і в кількості еквівалентів (мілімоль) з точністю до 0,01.

Реагенти

- Титранти:
 - розчин азотнокислого аргентуму AgNO_3 з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л: 3,40 г AgNO_3 (х. ч.) розчиняють у невеликій кількості дистильованої води й доводять об'єм до 1 л;
 - розчин комплексу III з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л: 3,722 г комплексу III розчиняють у дистильованій воді й доводять водою до об'єму 1 л.
 - Дистильована вода, прокип'ячена протягом 30 хв для видалення CO_2 .
 - Розчин сульфатної кислоти H_2SO_4 з еквівалентною концентрацією 0,01 моль/л: 0,28 мл концентрованої сульфатної кислоти H_2SO_4 (х. ч.) доводять дистильованою водою до 1 л.
 - 10 %-й розчин дихромату калію $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$: 100 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ (х. ч.) розчиняють у дистильованій воді й доводять об'єм до 1 л.
 - 10 %-й розчин гідроксиду натрію NaOH : 100 г NaOH (х. ч.) розчиняють у дистильованій воді й доводять об'єм до 1 л.
 - Хлоридна кислота HCl (х. ч.), розбавлена дистильованою водою в пропорції 1:1.
 - Осаджувальна суміш: 0,01 М розчин BaCl_2 (2,44 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ або 2,08 г BaCl_2 розчиняють у 1 л води) змішують із 0,01 М розчином MgCl_2 (2,03 г $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у 1 л води) в однакових об'ємах.

- Хлоридно-амонійний буфер із pH 10 (суміш NH_4OH з NH_4Cl): у 100 мл дистильованої води розчиняють 20 г хлориду амонію NH_4Cl . До розчину додають 100 мл 25 %-го розчину аміаку NH_4OH і доливають дистильовану воду до 1 л.

Примітка. Приготований розчин зберігають у склянці з притертою пробкою. Перед використанням буфера перевіряють величину його pH : беруть пробу розчину, додають до неї 1–2 краплі 0,1 %-го розчину фенолфталеїну. Якщо з'явиться забарвлення, розчин придатний для використання. У разі відсутності забарвлення доливають 25 %-й розчин аміаку до забарвлення, а потім додають ще невеликий його надлишок. Така перевірка необхідна у зв'язку з тим, що під час зберігання частина аміаку втрачається і pH стає менше 10, у результаті чого правильність титрування за хромогеном чорним не забезпечується.

- 10 %-й розчин аміаку NH_4OH : до 422 мл 25 %-го розчину аміаку додають дистильовану воду до об'єму 1 л.
- Гідроксиламін солянокислий у кристалах.
- 1 %-й розчин натрію сульфіді Na_2S : 1 г натрію сульфіді розчиняють у 100 мл води.
- Індикатори:
 - фенолфталеїн, 1 %-й розчин: 0,5 (1) г фенолфталеїну розчиняють у 30 (60) мл 96 %-го етилового спирту й об'єм доводять дистилатом до 50 (100) мл;
 - метиловий оранжевий 0,1 %-й розчин: 0,1 г індикатора розчиняють у 100 мл гарячого дистилату й після охолодження відфільтровують;
 - мурексид: суміш 1 частини індикатора з 40 частинами NaCl (або KCl) розтирають у ступці до одноріднозабарвленого порошку;
 - флуорексон;
 - хромоген чорний (еріохром чорний): суміш 1 частини індикатора зі 100 частинами NaCl (або KCl) розтирають у ступці до однорідного забарвлення.
 - індикаторний папір конго-рот: 0,1 г індикатора конго червоного розчиняють у 100 мл води в ході нагрівання. Промочують одержаним розчином беззольні фільтри й висушують їх на повітрі, вільному від випарів кислот і лугу. Розрізають на шматочки і зберігають у склянці з притертою кришкою.

Приготування водної витяжки

Хід роботи

1. На технічних терезах відбирають 40 г ґрунту, просіяного через сито з отворами 1 мм.
2. Пересипають наважку ґрунту в суху колбу об'ємом не менше 250 мл і доливають 200 мл дистильованої води без CO_2 .
3. Колби поміщають на ротатор, закривають гумовими пробками й збовтують протягом 3 хв.
4. Суспензію фільтрують через паперовий фільтр. Якщо перші порції фільтрату непрозорі, їх відкидають. Для аналізу мутних та темнозабарвлених витяжок використовують спеціалізовані методи.

4.8.1. Сухий, або щільний, залишок водної витяжки

Сухим (щільним) залишком водної витяжки називають масову частку (%) висушеного за 100–105 °С залишку, отриманого випарюванням аліквоти водної витяжки.

Сухий залишок дає уявлення про загальний вміст у ґрунті мінеральних і органічних сполук, які отримують із ґрунту методом водної витяжки. За величиною сухого залишку встановлюють ступінь засолення ґрунту. Однак у процесі висушування залишку гідрокарбонати перетворюються на карбонати з виділенням CO₂ і H₂O. Сульфати кальцію і магнію, що утворюються в ході випарювання водної витяжки, утримують кристалізаційну воду, хлориди магнію перетворюються на гідроксихлорид магнію MgOHCl із виділенням вільного хлору. Усі ці процеси впливають на результати визначення сухого залишку.

У деяких випадках проводять визначення прожареного залишку, що свідчить про масову частку в ґрунті мінеральних сполук, які переходять у водну витяжку. Його визначають прожарюванням сухого залишку або озоленням у ньому органічної речовини перексидом водню.

Оскільки хімізм засолення різних ґрунтів і їх специфічних горизонтів може бути суттєво відмінним, кожен із них являє собою оригінальне хімічне середовище для існування тварин.

Методика визначення сухого залишку водної витяжки

1. Залежно від вмісту легкорозчинних солей 50 (100) мл водної витяжки переносять у попередньо просушену й зважену на аналітичних вагах порцелянову чашку діаметром 5–7 см і випарюють досуха на водяній бані.

2. Після випарювання чашку зовні протирають, а потім просушують у сушильній шафі за температури 105 °С протягом 3 год.

3. Охолоджену в ексікаторі чашку із залишком зважують на аналітичних терезах.

4. Масову частку (%) сухого залишку розраховують за рівнянням

$$\text{сухий залишок, \%} = \frac{m_{\text{зал.}} \cdot V_0 \cdot 100}{m \cdot V_{\text{ал}}},$$

де $m_{\text{зал.}}$ – отримана маса сухого залишку, г;

V_0 – загальний об'єм води, яку додавали до ґрунту, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки;

m – наважка ґрунту, г;

$V_{\text{ал}}$ – об'єм аліквоти водної витяжки, мл.

Визначення ступеня засолення ґрунту кондуктометром

Питому електропровідність розчину вимірюють для приблизної оцінки загального вмісту в ньому солей.

Спочатку кондуктометр установлюють у робоче положення відповідно до інструкції, потім приступають до побудови калібрувального графіка.

1. Для приготування *вихідного стандартного розчину* зі вмістом солі (KCl) 1 мг/мл 1,0000 г KCl х. ч. розчиняють у дистильованій воді й тією самою водою доводять об'єм до 1 л.

2. Серію *робочих стандартів* готують у мірних колбах місткістю 100 мл:

кількість вихідного стандартного розчину, мл	5	10	20	40	60	80	100
концентрація солі, мг/мл (або г/л)	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

3. Потім доливають дистильовану воду до мітки й добре перемішують. Робочі стандартні розчини переливають у чисті сухі стаканчики об'ємом 100 мл і по черзі, починаючи з меншої концентрації, вимірюють їх електропровідність. Вимірювання кожного розчину повторюють не менше трьох разів, записуючи щораз максимальне показання.

4. Калібрувальний графік будують таким чином: за ординатою відкладають показання приладу, за абсцисою – концентрацію стандартних розчинів.

Електропровідність аналізованих водних витяжок вимірюють так само, як електропровідність стандартних розчинів. Частина приладу, що опускають у витяжку, перед зміною аналізу споліскують дистильованою водою. Якщо питома електропровідність розчину вища верхньої границі вимірювання приладу, розчин розбавляють у 10 разів дистильованою водою і проводять повторне вимірювання. Електропровідність такого розчину становить приблизно десяту частку електропровідності вихідного розчину.

5. Для розрахунку результатів (вміст солей у грамах на 1 кг ґрунту) знайдено за калібрувальним графіком концентрацію солей (у грамах у 1 л розчину) множать на 5.

Як правило, ступінь засолення ґрунту виражають у відсотках і розраховують за формулою

$$\text{уміст солей, \%} = \frac{a \cdot V_0 \cdot 100}{1000 \cdot m},$$

де a – вміст солей, знайдений за калібрувальною кривою, г/л;

V_0 – об'єм води, який додають для приготування витяжки з ґрунту, мл;

1000 – коефіцієнт перерахунку мілілітрів на літри;

m – наважка ґрунту, г.

4.8.2. Вимірювання *pH* витяжки ґрунту

Кислотність, обумовлену водорозчинними компонентами ґрунту, називають *актуальною* і визначають титруванням водних витяжок або за величиною *pH*. Результати титрування вказують на загальний вміст компонентів, здатних реагувати з основами (або з кислотами) за умов заданих значень *pH*.

Значення *pH* водних витяжок ґрунтів змінюються в широкому діапазоні.

У підзолистих, бурих лісових ґрунтах, особливо розвинутих на кислих породах (гранітах і т. д.), *pH* водних витяжок може іноді опускатися до 3–3,5, більш низькі значення можна спостерігати на рекультивованих відвалах гірничих порід, териконів. Якщо такі породи містять пірит, то його окиснювання киснем повітря призводить до утворення сульфатної кислоти, і реакція таких порід і поряд розташованих ґрунтів стає сильнокислою. Значення *pH* становить 1–2 і навіть менше.

Для більшості дерново-підзолистих, сірих лісових ґрунтів характерна помірно кисла реакція. У водних витяжках ґрунтів значення *pH* звичайно знаходяться в інтервалі від 3 до 6,5. У чорноземах типових, звичайних, південних, а також у каштанових ґрунтах значення *pH* поступово наростають і досягають у карбонатних ґрунтах і чорноземах (за наявності CaCO_3) величин близько 8–8,5. Лужну реакцію водних витяжок мають солонцюваті ґрунти, солонці й содові солончаки: у них *pH* може досягати 9–10.

У природних умовах реакція ґрунтового розчину варіює в межах від *pH* 3–3,5 у болотних ґрунтах до *pH* 9–10 у солонцевих. Життєдіяльність біоти, зокрема екскреторна діяльність тварин, впливає на величину *pH* ґрунту. Так, екскреції мишоподібних гризунів у верхніх горизонтах алювіально-лісових ґрунтів заплавлених дібров сприяють підвищенню *pH* на 6,3–14,8 % щодо контролю. У дерново-борових ґрунтах сухуватого бору під екскреціями лося показник *pH* підвищувався на 1,7–12,2 % щодо контролю. Якщо ґрунти карбонатні, тобто насичені катіонами кальцію та магнію, то вони мають лужну реакцію ґрунтового розчину (наприклад, *pH* 7,2–7,9). Останній чинник обмежує видовий склад люмбрицид, який у таких ґрунтах може бути представлений лише типовими калькофільними видами.

Хід роботи

У хімічний стаканчик відбирають 50 мл водної витяжки або суспензії, приготованої для водної витяжки, і визначають *pH* за допомогою *pH*-метра. Це визначення виконують у першу чергу, оскільки показники можуть швидко змінюватись під час зберігання. Одержаний показник називають “водне *pH*”. Залежно від нього реакція ґрунту має такі назви:

<i>pH</i> 3–4 – сильнокисла;	<i>pH</i> 7 – нейтральна;
<i>pH</i> 4–5 – кисла;	<i>pH</i> 7–8 – слабколужна;
<i>pH</i> 5–6 – слабкокисла;	<i>pH</i> 8–9 – лужна;
<i>pH</i> 6–7 – умовно нейтральна;	<i>pH</i> 9–10 – сильнолужна.

4.8.3. Аніонний склад

Методика визначення загальної лужності та лужності від розчинних карбонатів (CO_3^{2-})

Засоленим ґрунтам часто притаманна лужність – здатність їх компонентів виявляти хімічні властивості основ. Традиційно її пов’язують з аніонами слабких мінеральних і сильних органічних кислот, зокрема з іонами CO_3^{2-} (лужність від розчинних карбонатів, або часткова лужність) і HCO_3^- (лужність від розчинних гідрокарбонатів, або загальна лужність). У разі загальної лужності близько 0,07 % (1,15 ммоль) і *pH* 8,7 більшості культурних рослин розвиваються ненормально, а якщо загальна лужність становить 0,1 % (1,64 ммоль) і *pH* дорівнює 9,5 гинуть практично всі культурні рослини.

Якщо в результаті аналізу ґрунту одержані значення *pH* перевищують 7,5, то у витяжці наявні йони CO_3^{2-} , особливо токсичні для більшості живих організмів. Їх кількість вимірюють таким чином.

1. У конічні колби на 100 мл поміщають 25–50 мл водної витяжки, додають 2–3 краплі розчину фенолфталеїну і, якщо розчин набуває рожевого забарвлення, титрують розчином H_2SO_4 з еквівалентною концентрацією 0,01 моль/л до знебарвлення. Одержаний результат дозволить розрахувати кількість іонів CO_3^{2-} , тобто лужність від карбонатів.

2. У ту саму витяжку додають розчин метилового оранжевого і титрують розчином H_2SO_4 з еквівалентною концентрацією 0,01 моль/л до переходу жовтого забарвлення в оранжеве. Результати титрування використовують для розрахунку кількості іонів HCO_3^- , тобто загальної лужності.

Якщо визначені показники *pH* нижчі за 7,5, то йони CO_3^{2-} відсутні. У такому випадку одразу вимірюють загальну лужність.

3. Проводять аналіз холостої проби з дистильованою водою.

Вміст еквівалентів і відсоток карбонат-іонів розраховують за рівняннями

$$\text{CO}_3^{2-}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{2V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\text{CO}_3^{2-}, \% = \text{ ммоль/100 г ґрунту} \cdot 0,03,$$

де $2V_1$ – подвоєний об’єм H_2SO_4 , затрачений на титрування проби за фенолфталеїном, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація H_2SO_4 , моль/л;

V_0 – загальний об’єм води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

$V_{\text{ал}}$ – об’єм аліквоти, мл;

0,03 – молярна маса еквівалента карбонат-іона $1/2\text{CO}_3^{2-}$, г/ммоль.

Аналогічно розраховують вміст іонів HCO_3^- :

$$\text{HCO}_3^-, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{(V_1 + V_2) V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\text{HCO}_3^-, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 0,061,$$

де V_1 – об'єм розчину H_2SO_4 , витрачений на титрування проби за фенолфталеїном, мл;

V_2 – об'єм H_2SO_4 , витрачений на титрування тієї ж аліквоти витяжки за метиловим оранжевим, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація H_2SO_4 , моль/л;

V_0 – загальний об'єм води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

0,061 – молярна маса еквівалента гідрокарбонат-іона HCO_3^- , г/ммоль.

Методика визначення хлорид-іонів аргентометричним методом (за Мором)

1. У пробу витяжки, де визначали лужність, додають 1 мл 10 %-го розчину біхромату калію $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$.

2. Титрують розчином нітратного аргентуму AgNO_3 з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л у присутності свідка до появи слабого червоно-бурого забарвлення, що не зникає.

3. Окремо аналізують холосту пробу, яка водночас є свідком, за яким порівнюють колір під час титрування.

Вміст еквівалентів і відсоток хлорид-іонів розраховують за рівняннями

$$\text{Cl}^-, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\text{Cl}^-, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 0,035,$$

де V_1 – об'єм розчину AgNO_3 , витрачений на титрування Cl^- в аліквоті, мл;

V_0 – загальний об'єм води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація AgNO_3 , моль/л;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

0,035 – молярна маса еквівалента хлору Cl^- , г/ммоль.

Методика визначення сульфат-іонів комплексонометричним методом

1. Аліквоту водної витяжки 25–50 мл переносять у конічну колбу на 250 мл, доливають 50 мл дистильованої води, додають шматочок індикаторного паперу конго-рот.

2. По краплях у колбу додають розбавлену 1:1 соляну кислоту до переходу забарвлення паперу конго з червоного в синьо-фіолетовий.

3. Вміст колби кип'ятять упродовж 2–3 хв і за допомогою бюретки доливають 25 мл осаджувальної суміші, що містить невелику кількість магнію для більш чіткого визначення кінцевої точки титрування. Осадження сульфату барію проводять повільно, обережно перемішуючи вміст колби круговими рухами. Для старіння осаду колбу залишають на 2 год або на ніч.

4. Не відфільтровуючи осад, розчин нейтралізують 10 %-м розчином аміаку до переходу забарвлення індикаторного паперу конго-рот із синього в червоний.

5. Додають декілька кристаликів гідроксиламіну солянокислого, 2–3 краплі 1 %-го розчину Na_2S і 10 мл хлоридно-амонійного буферного розчину з pH 10.

6. Забарвлюють розчин хромогеном чорним до світлого фіолетового кольору й титрують розчином комплексону III з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л до появи яскраво-синього забарвлення.

За одержаними результатами розраховують кількість сульфат-іонів у витяжці. У формулі застосовують також результати титрування суми катіонів кальцію та магнію.

Вміст сульфат-іонів у загальному випадку розраховують за рівняннями

$$\begin{aligned} \text{SO}_4^{2-}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} &= \\ &= \frac{\left(\frac{V_1^{\text{титр.}} V_2}{V_3} - \left(V_4^{\text{титр.}} - \frac{V_5^{\text{титр.}} V_{\text{ал}}}{V_6} \right) \right) C_{\text{екв}} V_0 \cdot 100}{V_{\text{ал}} m} K_{\text{H}_2\text{O}}; \end{aligned}$$

$$\text{SO}_4^{2-}, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 0,048,$$

де $V_1^{\text{титр.}}$ – об'єм розчину комплексону III, витраченого на титрування взятого для осадження SO_4^{2-} об'єму розчину BaCl_2 та MgCl_2 , мл (холосте визначення);

V_2 – об'єм осаджувального розчину, взятого для осадження сульфатів, мл;

V_3 – об'єм осаджувального розчину, взятого на титрування для холостого визначення, мл;

$V_4^{\text{титр}}$ – об'єм розчину комплексону III, витраченого на титрування надлишку

BaCl_2 і суми $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, що містяться в об'ємі аналізованої витяжки, мл;

$V_5^{\text{титр}}$ – об'єм розчину комплексону III, витраченого на титрування суми

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, що містяться у об'ємі аналізованої витяжки, мл;

V_6 – об'єм дослідної проби, взятої для окремого визначення суми Ca^{2+} і Mg^{2+} , мл;

$V_{\text{ал}}$ – об'єм витяжки, взятої для визначення сульфатів, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація комплексону III, моль/л;

V_0 – об'єми загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

0,048 – молярна маса еквівалента сульфат-іона $1/2\text{SO}_4^{2-}$, г/ммоль.

Якщо об'єми V_2 , V_3 , V_6 і $V_{\text{ал}}$ збігаються, формула розрахунку кількості еквівалентів сульфат-іону набуває відносно простого вигляду:

$$\begin{aligned} \text{SO}_4^{2-}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} &= \\ &= \frac{\left(V_1^{\text{титр}} - \left(V_4^{\text{титр}} - V_5^{\text{титр}} \right) \right) C_{\text{екв}} V_0 \cdot 100}{V_{\text{ал}} m} K_{\text{H}_2\text{O}}. \end{aligned}$$

4.8.4. Катіонний склад

Визначення суми кальцію та магнію комплексометричним методом

Визначення кальцію і магнію може бути проведене послідовно, в одній пробі витяжки або титруванням двох проб, в одній із яких встановлюють кількість кальцію, а в другій – суму кальцію та магнію. Кількість іонів магнію визначають за різницею.

1. Аліквоту водної витяжки 25–50 мл поміщають у конічну колбу, доливають дистильовану воду до об'єму 50 мл і додають шматочок паперу, забарвленого конго-рот.

2. Підкислюють розбавленою 1 : 1 хлоридною кислотою до переходу забарвлення паперу конго з червоного в синьо-фіолетовий.

3. Вміст колби кип'ятять упродовж 2–3 хв і охолоджують до кімнатної температури.

4. Додають декілька кристаліків гідроксиламіну солянокислого, 2–3 краплі 1 %-го розчину Na_2S для нейтралізації домішок.

5. Доливають 20 мл хлоридно-амонійного буферного розчину з pH 10, додають хромоген чорний і титрують розчином комплексону III з еквівалентною

концентрацією 0,02 моль/л до переходу винно-червоного забарвлення в синє. Коли розчин набуде фіолетового кольору, титрують повільно.

6. Кальцій визначають в окремій аліквоті витяжки. 25–50 мл поміщають у конічну колбу, доливають дистильовану воду до об'єму 50 мл і додають шматочок паперу конго-рот.

7. Підкислюють розбавленою 1 : 1 соляною кислотою до переходу забарвлення паперу конго-рот із червоного в синьо-фіолетове.

8. Уміст колби кип'ятять упродовж 2–3 хв і охолоджують до кімнатної температури.

9. Додають декілька кристаліків гідроксиламіну солянокислого, 2–3 краплі 1 %-го розчину Na_2S для нейтралізації домішок.

10. Доливають 5 мл 10 %-го розчину KOH або NaOH .

11. Вносять індикатор мурексид і титрують розчином комплексону III з еквівалентною концентрацією 0,02 моль/л до переходу рожевого забарвлення в синьо-фіолетове. Об'єм розчину комплексону III відповідає кількості іонів кальцію в пробі.

12. Аналізують холосту пробу.

Якщо показник суми кальцію та магнію незначний (менше 0,5 ммоль/100 г ґрунту), то замість хромогену використовують хром темно-синій, який є більш чутливим індикатором, або застосовують розчин комплексону III з еквівалентною концентрацією 0,01 моль/л. Якщо в ході титрування неможливо встановити точку еквівалентності, то у витяжці наявні йони Cu , Mn , Fe , Al . У такому разі повторюють титрування, додаючи до витяжки реактиви, що забезпечують зв'язування домішок.

Вміст кальцію та магнію розраховують за рівняннями

$$\text{Ca}^{2+}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{V_1 V_0 C_{\text{екв}} \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\text{Ca}^{2+}, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 0,02 ;$$

$$\text{Mg}^{2+}, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{(V_2 - V_1) C_{\text{екв}} V_0 \cdot 100}{m V_{\text{ал}}} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\text{Mg}^{2+}, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 0,012 ,$$

де V_1 і V_2 – об'єми розчину комплексону III, витраченого на титрування кальцію та суми кальцію і магнію в аліквоті, мл;

$V_{\text{ал}}$ і V_0 – об'єми аліквоти й загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

$C_{\text{екв}}$ – еквівалентна концентрація комплексону III, моль/л;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

m – наважка ґрунту, г;

0,02 – молярна маса еквівалента кальцію $1/2\text{Ca}^{2+}$, г/ммоль;

0,012 – молярна маса еквівалента магнію $1/2\text{Mg}^{2+}$, г/ммоль.

Для визначення малої кількості кальцію застосовують індикатор флуорексон, що забарвлює розчин у жовтуватий колір із зеленою флуоресценцією. У точці еквівалентності опалесценція згасає, і розчин забарвлюється в рожево-жовтий колір.

Визначення кількості натрію у водній витяжці полуменеве-фотометричним методом

Для побудови калібрувального графіка використовують серію еталонних розчинів хлористого натрію NaCl. Спочатку готують *основний розчин* – 1000 мг натрію в 1 л – розчиняють 2,5421 г NaCl (х. ч.), висушеного за 105 °С, у дистильованій воді й доводять об'єм за 20 °С до 1 л. Розчин зберігають у поліетиленовій пляшці, 1 мл такого розчину містить 1 мг Na^+ .

Спосіб приготування робочих еталонних розчинів із різним вмістом натрію, а також метод визначення останнього наведені в розд. 4.7.2.

Вміст легкорозчинного натрію в ґрунті розраховують за формулами

$$\text{Na}^+, \text{ мг/л} = C_1 r ;$$

$$\text{Na}^+, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{23 \cdot 1000 m} K_{\text{H}_2\text{O}} ;$$

$$\text{Na}^+, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 23 \cdot 0,001 ,$$

де C_1 – шукана концентрація елемента, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

23 – молярна маса еквівалента натрію Na^+ , г/моль;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить натрій, із літрів на мілілітри;

m – наважка ґрунту, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт;

0,001 – коефіцієнт перерахунку кількості речовини із мілімоль на моль.

Визначення кількості калію у водній витяжці полуменеве-фотометричним методом

Щоб побудувати графік, готують стандартний розчин. Найкраще для цього взяти фіксанал хлористого калію KCl або власне цю сіль категорії х. ч. Сіль висушують у сушильній шафі за 105 °С протягом 1 год, потім охолоджують в ексикаторі. Використовують серію еталонних розчинів хлористого калію KCl.

Основний розчин – 1000 мг калію в 1 л – 1,9067 г KCl х. ч. розводять у дистильованій воді й об'єм доводять до 1 л.

Робочі еталонні розчини з різним вмістом калію готують аналогічно до еталонних розчинів із натрієм.

Методом фотометрії калій визначають у низькотемпературному полум'ї суміші “повітря–бутан”. Інтенсивність випромінювання вимірюють за спектральною лінією з довжиною хвилі 770 нм. Виготовлену серію еталонних розчинів із відомим вмістом калію фотометрують, фіксуючи показники амперметра. На графіку за абсцисою наводять концентрацію калію в еталонному розчині (мг/л), за ординатою – відлік за шкалою приладу для відповідного розчину. Потім вимірюють інтенсивність випромінювання розчинів з невідомою концентрацією калію і за калібрувальною кривою знаходять вміст калію (мг/л) досліджуваних розчинів. Якщо в аналізованих пробах витяжок міститься більше калію, ніж в еталонних розчинах, пробу розбавляють дистильованою водою в необхідну кількість разів і здійснюють повторні вимірювання.

Розрахунки проводять за формулами

$$\text{K}^+, \text{ мг/л} = C_1 r ;$$

$$\text{K}^+, \text{ ммоль/100 г ґрунту} = \frac{C_1 r V_0 \cdot 100}{39 \cdot 1000 m} K_{\text{H}_2\text{O}} ;$$

$$\text{K}^+, \% = \text{ммоль/100 г ґрунту} \cdot 39 \cdot 0,001 ,$$

де C_1 – концентрація елемента, знайдена за калібрувальним графіком, мг/л;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;

1000 – коефіцієнт перерахунку об'єму розчину, який містить калій, із літрів на мілілітри;

39 – молярна маса еквівалента калію K^+ , г/моль;

m – наважка ґрунту, г;

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ – коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт;

0,001 – коефіцієнт перерахунку кількості речовини із мілімоль на моль.

Методика визначення натрію та калію за різницею

Розраховують вміст аніонів (ммоль/100 г ґрунту) у витяжці шляхом додавання Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} . Від цього показника віднімають суму катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} (ммоль/100 г). Різниця між цими величинами і є сумою $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Оскільки в засоленних ґрунтах вміст водорозчинного калію незначний, одержану величину вважають показником вмісту йонів натрію в ґрунті. Методика є неточною, оскільки на цю величину припадають усі аналітичні помилки.

4.8.5. Розрахунок вмісту токсичних солей

У різних засолених ґрунтах може бути наявна одна й та ж кількість солей, але залежно від їх складу ґрунт може мати різний ступінь засоленості. Це обумовлено нерівноцінною токсичністю різних водорозчинних солей для живих організмів. Кількість солей у ґрунті, більше якої відбувається пригнічення росту й розвитку рослин, називається *порогом токсичності*. Ця величина залежить у першу чергу від складу солей, а також гранулометричного складу ґрунту, його зволоженості, кліматичних умов, виду живого організму тощо.

За ступенем розчинності у воді солі поділяють на легко-, середньо- та малорозчинні. Із токсичних солей найчастіше наявні в ґрунті Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 , MgSO_4 . Найтоксичнішими є сода Na_2CO_3 і хлориди, менш токсичні сульфати натрію та магнію. Нетоксичними є $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ та гіпс CaSO_4 .

Іони Cl^- , Na^+ і Mg^{2+} вважають *повністю токсичними*. Загальний вміст HCO_3^- , Ca^{2+} і SO_4^{2-} складається з “токсичної” для рослин частини, обумовленої легкорозчинними солями, і “нетоксичної” частини, обумовленої розчиненням в водній витяжці карбонатів і гіпсу.

Кількість еквівалентів (ммоль/100 г ґрунту) токсичних іонів HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} обчислюють за формулами

$$\text{HCO}_{3\text{токс.}} = \text{HCO}_{3\text{заг.}} - \text{Ca}_{\text{заг.}}, \text{ якщо } \text{HCO}_{3\text{заг.}} \geq \text{Ca}_{\text{заг.}};$$

$$\text{SO}_{4\text{токс.}} = \text{SO}_{4\text{заг.}} - (\text{Ca}_{\text{заг.}} - \text{HCO}_{3\text{заг.}}), \text{ якщо } \text{HCO}_{3\text{заг.}} \leq \text{Ca}_{\text{заг.}};$$

$$\text{Ca}_{\text{токс.}} = \text{Ca}_{\text{заг.}} - \text{SO}_{4\text{заг.}} - \text{HCO}_{3\text{заг.}}$$

Суму токсичних солей можна розрахувати двома способами:

$$1. S_{\text{токс.}} = \text{Cl}_{\text{заг.}} \cdot 0,0355 + \text{Na}_{\text{заг.}} \cdot 0,023 + \text{Mg}_{\text{заг.}} \cdot 0,012 + \text{HCO}_{3\text{токс.}} \cdot 0,061 + \text{SO}_{4\text{токс.}} \cdot 0,048 + \text{Ca}_{\text{токс.}} \cdot 0,020;$$

$$2. a) \text{ якщо } \text{Ca}_{\text{заг.}} \geq \text{HCO}_{3\text{заг.}} \text{ за умов } \text{Ca}_{\text{заг.}} \leq (\text{SO}_{4\text{заг.}} + \text{HCO}_{3\text{заг.}}), \\ \text{то } S_{\text{токс.}} = S_{\text{заг.}} - \text{Ca}_{\text{заг.}} \cdot 0,068 - \text{HCO}_{3\text{заг.}} \cdot 0,013;$$

$$б) \text{ якщо } \text{Ca}_{\text{заг.}} \leq \text{HCO}_{3\text{заг.}}, \text{ то } S_{\text{токс.}} = S_{\text{заг.}} - \text{Ca}_{\text{заг.}} \cdot 0,081;$$

$$в) \text{ якщо } \text{Ca}_{\text{заг.}} \geq (\text{SO}_{4\text{заг.}} + \text{HCO}_{3\text{заг.}}), \\ \text{то } S_{\text{токс.}} = S_{\text{заг.}} - \text{SO}_{4\text{заг.}} \cdot 0,068 - \text{HCO}_{3\text{заг.}} \cdot 0,081,$$

де $\text{Cl}_{\text{заг.}}$, $\text{HCO}_{3\text{заг.}}$, $\text{SO}_{4\text{заг.}}$, $\text{Ca}_{\text{заг.}}$, $\text{Mg}_{\text{заг.}}$, $\text{Na}_{\text{заг.}}$ – загальний вміст іонів у водній витяжці, ммоль/100 г ґрунту;

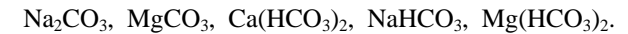
$\text{HCO}_{3\text{токс.}}$, $\text{SO}_{4\text{токс.}}$, $\text{Ca}_{\text{токс.}}$ – “токсичний” вміст іонів у водній витяжці, ммоль/100 г ґрунту;

$S_{\text{заг.}}$ – сухий залишок водної витяжки (або загальна сума вмісту всіх іонів витяжки), %;

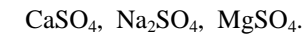
$S_{\text{токс.}}$ – сума “токсичних” солей у водній витяжці, %.

Іони CO_3^{2-} дуже токсичні, але якщо в ході аналізу водної витяжки вони не виявлені, переходять до розрахунків, пов'язаних з іонами HCO_3^- . Їх наявність у водній витяжці обумовлена як токсичними солями – NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, так і нетоксичними – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Метод розрахунку токсичних і нетоксичних солей ґрунтується на зв'язуванні іонів послідовно в гіпотетичні солі в напрямку від менш розчинних до більш розчинних.

У першу чергу зв'язуються катіони та аніони карбонатів у такій послідовності:



Далі катіони сполучаються з аніонами SO_4^{2-} у такій послідовності:



В останню чергу катіони зв'язуються з хлоридами: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 .

Нижче (табл. 4.8.1) наведений приклад розрахунку формули гіпотетичних солей для верхнього десятисантиметрового шару осолоділого лучно-лісового ґрунту.

Таблиця 4.8.1

Результати аналізу водної витяжки

Шар ґрунту, см	Кількість еквівалентів іона у водній витяжці, ммоль/100 г ґрунту							Сума солей, %	Сума токсичних солей, %
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+		
0–10	–	0,12	0,11	1,55	0,71	0,58	0,49	0,12	0,06

Спочатку визначають можливий вміст у водній витяжці такої солі, як $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Для цього кількість іонів HCO_3^- зв'язують із еквівалентною кількістю іонів Ca^{2+} . Якщо деяка кількість HCO_3^- після цього зв'язування залишається вільною, її спочатку сполучають із Mg^{2+} , а потім із Na^+ . У цьому випадку кількість іонів HCO_3^- становить 0,12 ммоль/100 г ґрунту, а іонів Ca^{2+} 0,71 ммоль/100 г ґрунту. Зв'язуємо

$$0,12 (\text{HCO}_3^-) + 0,12 (\text{Ca}^{2+}) = 0,24 (\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2).$$

Таким чином, утворюється 0,24 ммоль/100 г ґрунту солі $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Залишилось Ca^{2+} : $0,71 - 0,12 = 0,59$ ммоль/100 г ґрунту.

Іон SO_4^{2-} нетоксичний, коли входить до складу гіпсу CaSO_4 , і токсичний, коли зв'язаний із Mg^{2+} (MgSO_4) або Na^+ (Na_2SO_4). У першу чергу SO_4^{2-} зв'язується з кальцієм, що залишився після сполучення його з HCO_3^- :

$$0,59 (\text{Ca}^{2+}) + 0,59 (\text{SO}_4^{2-}) = 1,18 (\text{CaSO}_4).$$

У результаті утворюється 1,18 ммоль/100 г ґрунту солі CaSO_4 . Вільних іонів кальцію більше немає.

У розчині ще залишився вільний іон SO_4^{2-} : $1,55 - 0,59 = 0,96$ ммоль/100 г ґрунту. Цей залишок сульфатів в еквівалентній кількості сполучається з натрієм:

$$0,49 (\text{SO}_4^{2-}) + 0,49 (\text{Na}^+) = 0,98 (\text{Na}_2\text{SO}_4).$$

Вільних іонів натрію Na^+ не залишилось, а кількість вільних сульфатів SO_4^{2-} становить $0,96 - 0,49 = 0,47$ ммоль. Залишок сульфат-іона сполучається з магній-іоном:

$$0,47 (\text{SO}_4^{2-}) + 0,47 (\text{Mg}^{2+}) = 0,94 \text{ ммоль/100 г ґрунту солі } \text{MgSO}_4.$$

Певна кількість іонів магнію Mg^{2+} ще залишилась вільною: $0,58 - 0,47 = 0,11$ ммоль/100 г ґрунту.

Хлоридні солі дуже токсичні. Зв'язування іона Cl^- відбувається в такій послідовності: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 . Оскільки всі йони натрію вже зв'язані в солі, з хлоридами сполучається магній:

$$0,11 (\text{Mg}^{2+}) + 0,11 (\text{Cl}^-) = 0,22 (\text{MgCl}_2).$$

Аналогічно розраховують вміст гіпотетичних солей для інших горизонтів ґрунтового профілю. Скорочені результати обчислень подані далі (табл. 4.8.2).

Таблиця 4.8.2

Вміст гіпотетичних солей у ґрунті за результатами аналізу водної витяжки

Шар ґрунту, см	Токсичні солі, ммоль/100 г ґрунту							Нетоксичні солі, ммоль/100 г ґрунту	
	Na_2CO_3	NaHCO_3	NaCl	Na_2SO_4	MgCl_2	CaCl_2	MgSO_4	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4
0–10	0	0	0	0,98	0,22	0	0,94	0,24	1,18
10–20	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Перевірка правильності аналізу. Крім загальноприйнятого контролю якості – проведення повторного аналізу – водна витяжка має “внутрішній” контроль якості. Він полягає в зіставленні сухого залишку із сумою всіх визначених іонів, виражених у відсотках до маси ґрунту, а також суми катіонів, вираженої в мілімоль на 100 г ґрунту, із сумою аніонів у таких самих одиницях. В обох випадках порівнювані показники повинні відрізнятися не більше, ніж на 5–10 %. У водних витяжках із незасолених і слабкозасолених ґрунтів різниця може досягати 50 %.

4.8.6. Типи розподілу речовин у ґрунті

За характером накопичення – винесення речовин у ґрунтовому профілі (гумусу, мулистих часток, карбонатів, гіпсу, водорозчинних солей, полуторних оксидів, кремнезему, вторинних мінералів, конкрецій), що відображається на морфологічних ознаках ґрунту, виділяють 12 типів їх розподілу (рис. 4.8.1).

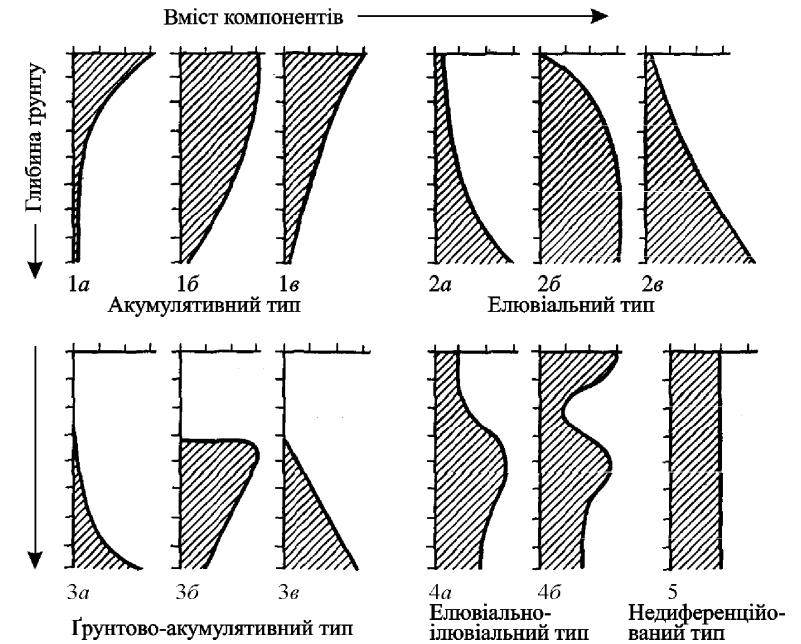


Рис. 4.8.1. Типи розподілу речовин у ґрунтовому профілі (за Б. Г. Розановим):

1а – регресивно-акумулятивний; 1б – прогресивно-акумулятивний; 1в – рівномірно-акумулятивний; 2а – регресивно-елювіальний; 2б – прогресивно-елювіальний; 2в – рівномірно-елювіальний; 3а – регресивно-ґрунтово-акумулятивний; 3б – прогресивно-ґрунтово-акумулятивний; 3в – рівномірно-ґрунтово-акумулятивний; 4а – елювіально-ілювіальний; 4б – акумулятивно-елювіально-ілювіальний; 5 – недиференційований

Акумулятивний тип – профілі з максимальним накопиченням речовин (наприклад, гумусу) на поверхні з поступовим зменшенням їх вмісту зі збільшенням глибини. Генетично така акумуляція відбувається як за рахунок поверхневого надходження речовини (гумусу), так і за рахунок її принесення ґрунтовими водами (солі).

Для елювіального типу характерні профілі, для яких велике значення має руйнування і винесення речовин за межі профілю. Таких профілів відносно мало. Вони найчастіше утворюються за наявності карбонатів або водорозчинних солей.

Ґрунтово-аккумулятивний тип характерний переважно для гідроморфних або палеогідроморфних ґрунтів. Генетично цей тип профілю завжди пов'язаний із ґрунтовими водами й переміщенням речовини вгору по профілю.

Елювіально-ілювіальний тип найчастіше спостерігається в ґрунтах, для яких характерне винесення речовини згори вниз. При цьому речовини, що виносяться зверху, осаджуються в ґрунтовому профілі, утворюючи ілювіальний (вмитий) горизонт.

Для недиференційованого типу характерний рівномірний розподіл речовини по всьому ґрунтовому профілю.

Часто в одному й тому самому ґрунті можуть поєднуватися різні типи профілів розподілу. Наприклад, для дерново-підзолистого ґрунту характерні аккумулятивний профіль гумусу, елювіально-ілювіальний профіль глини й полуторних оксидів та елювіальний профіль натрію і калію. Це й обумовлює різноманіття генетичних типів профілів ґрунтів.

4.8.7. Оцінка ступеня засолення ґрунту

Для оцінки ступеня засолення ґрунту найчастіше застосовують характеристику сухого залишку водної витяжки, але цей показник не точний, оскільки до сухого залишку часто належать не тільки водорозчинні солі, але й колоїдні частинки, які проходять через фільтр. За ступенем засоленості ґрунти поділяють на такі категорії:

незасолені	< 0,3 %;
слабкозасолені	0,3–0,5 %;
середньозасолені	0,5–1,0 %;
сильнозасолені	1–2 %;
дуже сильно засолені	> 2 %.

Найбільш коректною та точною є класифікація ґрунтів з урахуванням токсичності легкорозчинних солей (табл. 4.8.3, 4.8.4).

Таблиця 4.8.3

Тип засолення	Співвідношення кількості іонів (ммоль/100 г ґрунту)		
	Аніони		
	$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4}$	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{Cl} - \text{SO}_4}$
Хлоридний	> 2	< 0,5	–
Сульфатно-хлоридний	1–2	0,5–1,0	–
Хлоридно-сульфатний	0,2–1	1,0–5,0	–
Сульфатний	< 0,2	> 5,0	–
Карбонатно-сульфатний	< 0,2	> 5,0	1
Сульфатно-содовий	–	–	2

Закінчення табл. 4.8.3

Тип засолення	Співвідношення кількості іонів (ммоль/100 г ґрунту)		
	Катіони		
	$\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$	$\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{Na} + \text{K}}$	$\frac{\text{Mg}}{\text{Ca}}$
Натрієвий	> 2	< 0,5	–
Магнієво-натрієвий	1–2	0,5–1	> 1
Кальцієво-натрієвий	1–2	0,5–1	< 1
Кальцієво-магнієвий	< 1	> 1	> 1
Магнієво-кальцієвий	< 1	> 1	< 1
Натрієвий	< 2	–	–

Таблиця 4.8.4

Вміст і склад солей у ґрунтах різного типу засолення

Група ґрунтів	Тип засолення	Вміст солей, % від маси абсолютно сухого ґрунту			
		щільний залишок	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
Незасолені	Хлоридний і сульфатно-хлоридний	< 0,3	–	< 0,01	–
Слабкозасолені		0,3–0,5	–	0,01–0,05	–
Середньозасолені		0,5–1,0	–	0,05–0,10	–
Сильнозасолені		1,0–2,0	–	0,1–0,2	–
Дуже сильнозасолені (солончаки)		> 2,0	–	> 0,2	–
Незасолені	Сульфатний і хлоридно-сульфатний	> 0,3	> 0,3	> 0,3	> 0,3
Слабкозасолені		0,3–1,0	0,3–1,0	0,3–1,0	0,3–1,0
Середньозасолені		1,0–2,0	1,0–2,0	1,0–2,0	1,0–2,0
Сильнозасолені		2,0–3,0	2,0–3,0	2,0–3,0	2,0–3,0
Дуже сильно засолені (солончаки)		> 3,0	> 3,0	> 3,0	> 3,0
Незасолені	Содовий і змішаного типу	< 0,1	< 0,06	0,01	0,02
Слабкозасолені		0,1–0,3	0,1–0,2	0,01	0,05–0,10
Середньозасолені		0,3–0,5	0,2–0,3	0,01	0,20
Сильнозасолені		0,5–0,7	0,3–0,4	0,02	0,20
Дуже сильнозасолені (солончаки)		0,7–1,0	> 0,4	0,02	0,20

4.8.8. Приклад інтерпретації результатів аналізу водної витяжки

Результати аналізу водної витяжки звичайно подають у табличному й графічному вигляді. Нижче наведені результати хімічного аналізу проб, відібраних у пакленовій діброві з профілю осолоділого лучно-лісового ґрунту (табл. 4.8.5).

Таблиця 4.8.5

Йонно-солевий склад водної витяжки ґрунту

Шар ґрунту, см	рН водне	Кількість еквівалентів іонів, ммоль/100 г ґрунту							Сума солей, %	Сума токсичних солей, %
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺		
0–10	6,3	–	0,12	0,11	1,55	0,71	0,58	0,09	0,12	0,06
10–20	5,9	–	0,16	0,12	0,83	0,65	0,55	0,05	0,08	0,04
20–30	6,4	–	0,08	0,07	0,47	0,23	0,26	0,05	0,05	0,02
30–40	6,4	–	0,12	0,11	0,50	0,26	0,31	0,12	0,05	0,03
40–60	6,9	–	0,30	0,16	3,71	0,32	0,16	0,77	0,27	0,13
60–80	7,6	–	0,24	0,12	2,37	0,28	0,12	2,00	0,22	0,15
80–90	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Особливості розподілу аніонів і катіонів легкокорозчинних, а також гіпотетичних солей у ґрунті розглядають за солевим профілем, де на осі ординат показана глибину ґрунту (см), а на осі абсцис – кількість еквівалентів іонів (ммоль/100 г абсолютно сухого ґрунту). Нижче графічно зображені аніонно-катіонний склад водорозчинних сполук (рис. 4.8.2) і вміст токсичних і нетоксичних солей на прикладі осолоділого лучно-лісового ґрунту (рис. 4.8.3).

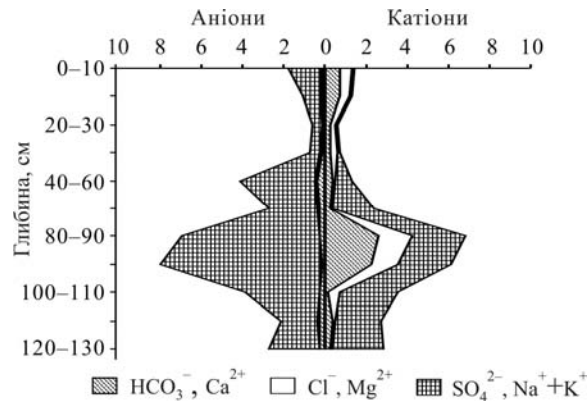


Рис. 4.8.2. Сольовий профіль осолоділого лучно-лісового ґрунту

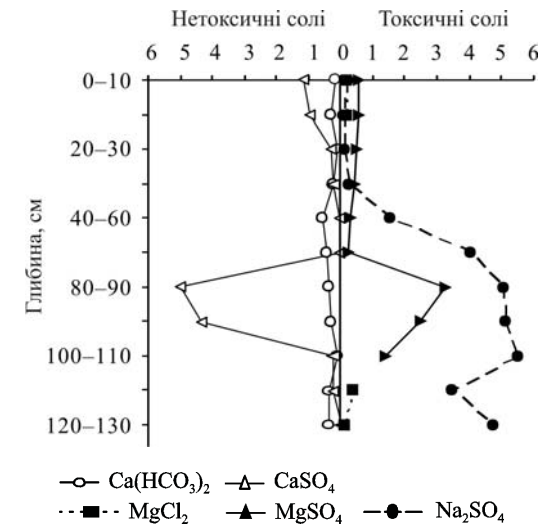


Рис. 4.8.3. Розподіл гіпотетичних солей осолоділого лучно-лісового ґрунту

Розподіл солей за профілем демонструє наявність двох солевих максимумів: першого – у шарі 0–20 см, другого – на глибині 40–100 см. Це свідчить про те, що в ґрунті відбувались процеси міграції солей, що супроводжувались розсолоненням раніше засолених ґрунтів під дією підґрунтових вод.

У верхньому шарі ґрунту (0–20 см) спостерігається підвищений вміст аніонів та катіонів за рахунок випаровування з поверхні вологи, а також надходження солей, що звільнилися у ході мінералізації рослинних залишків. На глибині 20–40 см розташований елювіальний (*вмитий*) горизонт, майже вільний від більшості водорозчинних солей. Під ним починаючи з глибини 40 см залягає різко виражений ілювіальний (*вмитий*) солевий горизонт, у якому концентрація солей сягає максимуму. Наявність солевого максимуму на глибині 80–100 см свідчить про розвиток дренажності, опускання підґрунтових вод та послідовний винос солей углиб профілю (розсолонення). Про розсолонення свідчить також той факт, що максимум вмісту сульфатів спостерігається в підсолонцевому горизонті. Нижче ілювіального горизонту концентрація аніонів та катіонів по профілю зменшується. Оскільки співвідношення аніонів Cl⁻/SO₄²⁻ менше за 0,2, для досліджуваного ґрунту притаманний сульфатний тип засолення.

4.9. ОЗОЛЕННЯ ЯК ЕТАП У ХОДІ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОЛЬНОГО СКЛАДУ БІОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Дослідження зольного складу ґрунтових тварин як агентів ґрунтоутворення і об'єктів живлення дуже тісно пов'язані з проблемами пристосовності організмів до ґрунтово-хімічних умов, сукцесійних змін у біогеоценозі, середовищеперетворювальної діяльності тварин і ролі організмів у круговороті речовин у біогеоценозі. Наприклад, за літературними даними такі важливі споживачі листяного опаду, як ківсьяки, за чисельності 100 особин на 1 м² можуть тільки внаслідок линяння повернути в ґрунт до 60 кг кальцію. Активна участь ґрунтових тварин у міграції зольних елементів вимагає великої уваги, тому що вони впливають у першу чергу на швидкість повернення хімічних елементів із підстилки в ґрунт.

Основа золи – кальцій, калій, магній, фосфор, натрій, силіцій, сульфур – так звані *макроелементи*. Вміст їх у складі тварин дорівнює 10⁻²–10 % від сухої маси. Зольність ґрунтових тварин значною мірою залежить від вмісту в них кальцію. Науковці встановили, що в комах і їх личинок вона коливається від 3 до 12 %, у павуків становить 4 %, у хілопод – 7 %, калькофільних ізопод і диплопод – 30–40 %, у черепащі моллюсків досягає 83 %. Однак значення кальцію зменшується зі зменшенням зольності. У малозольних ґрунтових безхребетних головним компонентом золи стає калій (особливо багато його в тілі фітофагів). Помітну частку золи цих тварин займає натрій.

Ферум, купрум, манган, алюміній, бор, молібден, кобальт, нікол, йод, бром, цинк, літій, цезій, рубідій, стронцій, барій, ванадій, хром, пльомбум, флуор, арсен та інші називають *мікроелементами*, вони наявні в складі тварин у концентраціях 10⁻⁵–10⁻³ %. Необхідно відзначити, що багато мікроелементів входять до складу промислових відходів і забруднень. Порядок концентрації інших елементів у складі тварин поки точно не визначений, а всього нараховують 66 елементів. Вплив нестачі або надлишку різних хімічних елементів у харчуванні ґрунтових тварин у природних умовах практично не вивчений.

Виділяють високо- та малозольні групи безхребетних тварин. До *високозольних* організмів належать тварини з розвиненими кальційованими покривами – моллюски, які мають черепашку; мокриці; диплоподи, які за типом живлення представлені сапрофагами або факультативними фітофагами. До *малозольних* безхребетних тварин належить більшість комах, хеліцерових та олігохет. Організми, зольність яких становить близько 10 %, складають групу *середньозольних* безхребетних тварин – це деякі дощові черв'яки та твердокрилі комах, личинки двокрилих а також слимаки. Кореляція між характером живлення та зольністю не встановлена. Відомо, що мешканці сухих місць існувань мають дещо більшу зольність, ніж безхребетні тварини вологих біотопів. У таких групах, як диплоподи, мокриці та моллюски, це прямо пов'язано з кальцинацією покривів або збільшенням відносної маси черепашки як пристосування до зниження втрат вологи з організму.

4.9.1. Пробопідготовка

Однією з найважливіших частин роботи з визначення зольного складу біологічних матеріалів є підготовка проби до хімічного аналізу. Зібраний матеріал повинен бути ретельно очищений від домішок, зокрема кишечники безхребетних – від умісту. Цього досягають витриманням тварин без їжі у вологій тканині протягом двох діб або проштотуванням капронової нитки з оплавленим кінцем через стравохід (дощові черв'яки, личинки дротяників). Розтинати тварин не рекомендують, оскільки з рідиною тіла втрачаються й хімічні елементи. Ківсьяків і мокриць потрібно витримати без їжі 1 добу. Комах, мокриць, ківсьяків заморюють ефіром, а дощових черв'яків і личинок довгоніжок підсушують у бюксах із сухим фільтрувальним папером, а потім переносять у ґрунтові стаканчики. Висушування здійснюють у ґрунтових стаканчиках або пакетах з обгорткового паперу в сушильній шафі за температури 105 °С до постійної маси.

Під час підготовки проб до визначення мікроелементів матеріал збирають і сушать до повітряно-сухого стану в пакетах з пергаменту, кальки або в пластмасових стаканчиках. Фіксовані матеріали використовувати не слід у зв'язку з тим, що розчин фіксатора може бути забруднений різними мікроелементами. Висушування й озолення краще проводити відразу після збору тварин і визначення їх видової приналежності. Проби сушать за температури 105 °С і не вище. У таких умовах постійна маса проби величиною 200 мг живої ваги досягається приблизно через 6 год. Перед зважуванням проби охолоджують в ексікаторі, на дно якого ставлять бюкс із хлористим кальцієм або гранульованим лугом.

Для визначення макроелементів достатні наважки 50–100 мг сухої маси, для імага комах у 2–3 рази більші. Озолення проб здійснюють сухим або мокрим способом.

4.9.2. Озолення матеріалу

Щоб визначити вміст макро- і мікроелементів у ґрунтах, рослинних і тваринних зразках, необхідно зруйнувати органічну речовину, тобто окислити її до мінеральних сполук. Для цього звичайно застосовують один із таких способів:

1) мокре озолення – обробка матеріалу киплячими сильними окиснювачами¹ (HNO₃, HClO₄, H₂SO₄, H₂O₂), максимальна температура, що при цьому досягається, не перевищує 336 °С (кипіння H₂SO₄);

2) сухе озолення – окиснювання матеріалу киснем повітря за підвищеної температури (в інтервалі 400–450 °С).

Спосіб мокрого озолення застосовують в основному для спалювання невеликих наважок (до 1 г), оскільки в процесі цього витрачаються великі кількості окиснювачів, що, у свою чергу, пов'язано із забрудненням аналізу, особливо мікроелементами, наявними в самих окиснювачах.

¹ Випарювання летких кислот і луку (NH₄OH) проводять на водяній бані й тільки у витяжній шафі.

Суше озолення в муфельній печі проводять за температури не вище 400–450 °С до одержання світлої золи в порцелянових або платинових тиглях¹. У разі нагрівання муфельної печі вище зазначеної температури мають місце істотні термічні втрати деяких елементів, особливо калію та цинку. Застосовуючи сухий спосіб, отримують “сиру” золу², яка буває забруднена карбоном і піском. Щоб позбутись цих домішок, “сиру” золу розчиняють у 10 %-му розчині НСІ і відфільтровують.

Озолення обома названими способами відбувається порівняно повільно. Так, наважки сухого зразка масою 5–10 г озолуються за 4–12 год.

Озолення в муфелі

1. Висушену до повітряно-сухого стану наважку подрібненого матеріалу масою 5–10 г поміщають у порцелянову (кварцову) чашку³ або тигель, ставлять у холодний або слабкопідігрійтий муфель і, залишаючи його дверцята відкритими, підвищують температуру. У такий спосіб нагрівання продовжують до повного припинення виділення диму з матеріалу, який озолують.

2. Далі муфель закривають, підвищують температуру до 400–450 °С (до ледве помітного темно-червоного розжарювання) і витримують 2–3 год. На цій стадії озолення відбувається суха сублімація речовини.

3. Потім чашку охолоджують, залишок матеріалу, який озолують, змочують 1–2 краплями концентрованої ННО₃. Вміст чашки (тигеля) випарюють досуха (підсушують) і знову нагрівають у муфелі за температури 400–450 °С упродовж 20–30 хв. Обробку ННО₃ і наступне короткочасне нагрівання продовжують доти, доки із золи не зникнуть чорні частки вугілля.

Примітка. Якщо зола містить велику кількість кремнекислих і фосфорнокислих солей (зола соломи), то вони можуть обволікати незгорілі частки й перешкоджати повному озоленню. У цьому випадку рекомендують чашку із золою охолодити, золу змочити, доливаючи по стінках чашки 2–3 мл концентрованої НСІ (у разі великого об'єму кремнієвої золи – 3–4 мл) і 0,3–0,4 мл (6–8 крапель) 30 %-го розчину Н₂О₂, за умов слабого нагрівання чашку випарити досуха й знову поставити в муфель.

4. Після повного спалення речовини (копір попелу цигарок) тигель із золою охолоджують в ексикаторі, зважують і обчислюють коефіцієнт озолення ($K_{\text{озол.}}$) та вміст “сирої” золи:

$$K_{\text{озол.}} = \frac{m_{\text{зола}}}{m_{\text{наважка}}},$$

¹ У порцелянових тиглях унаслідок довгого їх використання можливе приплавлення часток золи до глазури, у результаті чого тигель може стати непридатним.

² Золу називають “сирою” тому, що вона крім власне зольних елементів містить мінеральні домішки та вуглекислоту. Остання виникає у зв'язку з тим, що під час руйнування органічної речовини кальцій, магній, калій і натрій частково утворюють карбонати.

³ Щоб запобігти втраті матеріалу в процесі озолення, зразок повинен займати не більше 2/3 об'єму чашки або тигля.

$$\text{“сира” зола, \%} = \frac{m_{\text{зола}} \cdot 100 \cdot 100}{m_{\text{наважка}} (100 - W)},$$

де $m_{\text{зола}}$ – маса “сирої” золи, г;

$m_{\text{наважка}}$ – наважка повітряно-сухої речовини, взятої для озолення, г;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки;

W – гігроскопічна волога наважки, у відсотках щодо маси абсолютно сухої речовини;

100/(100– W) – коефіцієнт перерахунку на абсолютно суху речовину.

Добуту таким чином “сиру” золу використовують для подальшого визначення елементів. Для розчинення сухого залишку й переходу елементів у розчин у чашку (тигель) додають 2 мл концентрованої НСІ, а з промивної склянки – близько 10 мл гарячої дистильованої води, підкисленої розчином НСІ (100 : 1). Одержаний гарячий розчин золи відразу ж фільтрують через складчастий беззольний фільтр, що безпосередньо перед фільтруванням 3–4 рази промивають гарячою дистильованою водою, підкисленою розчином НСІ (100 : 1).

Після повного фільтрування першої порції розчину золи чашку, а потім і фільтр 2–3 рази промивають тією ж гарячою підкисленою водою із промивної склянки. Кожна порція промивної води повинна бути відфільтрована досить повно. Наприкінці розчин холодної підкисленої води доводять до 100 мл. У фільтраті визначають мікро- та макроелементи, що входять до складу золи.

Щоб одержати контрольний розчин, у чашці випарюють стільки ж кислоти й Н₂О₂, скільки взято для аналізу, а наступні операції проводять, як описано вище.

4.10. ВИЗНАЧЕННЯ РУХОМИХ ФОРМ СПОЛУК МІКРОЕЛЕМЕНТІВ

У процесі вивчення вмісту мікроелементів у ґрунтах, тваринах і рослинах визначають їх загальний (валовий) вміст, а також вміст рухомих форм сполук мікроелементів. Вал одержують із витяжок ґрунту, які містять потенційно доступні форми для поглинання біотою (насамперед рослинами) мікроелементів. Його значення характеризують загальні запаси того або іншого елемента в досліджуваних об'єктах будь-якої екосистеми (*фактор ємності*).

Якщо з ґрунту, рослини або тварини екстрагують водорозчинні та йонообмінні форми мікроелементів, то їм відповідає рухома форма сполук мікроелементів, яка виявляє ступінь рухомості мікроелементів (*фактор інтенсивності*).

Оцінка та прогноз екологічного стану ґрунту мають бути проведені на основі аналізу даних щодо рухомості окремих хімічних елементів. Під рухомістю розуміють здатність хімічного елемента брати участь у різних видах міграції, переходити по трофічних ланцюгах у рослини, тварини, мікроорганізми та попадати у водне середовище.

Накопичення мікроелементів безхребетними тваринами відбувається в основному по трофічних ланцюгах. Концентрація мікроелементів у їжі – один із головних чинників, який визначає їх концентрацію в тілі тварин.

Для порівняння вмісту мікроелементів у безхребетних тварин із різних дослідних ділянок, біоценозів, екосистем тощо розраховують *індекс біологічного накопичення* – співвідношення вмісту мікроелементів у тварині до їх вмісту в середовищі існування або об'єктах живлення.

У результаті проведення різноманітних ґрунтово-зоологічних досліджень найбільш коректно можна оцінити біологічне накопичення мікроелементів щодо представників сапротрофного комплексу, тому що ґрунт для них не тільки середовище існування, але й місце живлення. У той же час для представників зоофагів ґрунт – це тільки місце існування.

За характером накопичення окремих хімічних елементів наземних тварин поділяють на три геохімічні групи:

1) **накопичувачі** – містять елемент у більшій концентрації, ніж у харчовому субстраті (коефіцієнт накопичення перевищує одиницю);

2) **розсіювачі** – містять елемент в однаковій з харчовим субстратом концентрації (коефіцієнт накопичення близько одиниці), за рахунок міграцій і рийної діяльності інтенсифікують біогенний круговорот, розсіювання елемента в просторі;

3) **очищувачі** – містять елемент у значно меншій концентрації, ніж харчовий субстрат (коефіцієнт накопичення набагато менший одиниці), сприяють “очищенню” трофічного ланцюга від досліджуваного елемента.

4.10.1. Визначення вмісту рухомих форм сполук мікроелементів атомно-абсорбційним методом

Рухомі форми сполук Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Co добувають із ґрунтів ацетатно-амонійним буферним розчином із *pH* 4,8. Відношення ґрунту до розчину 1 : 10, час взаємодії – 1 год у ході збовтування на ротаторі або настоювання протягом доби. Метод придатний для некарбонатних і карбонатних ґрунтів, прийнятний для оцінки забезпеченості ґрунтів рухомими формами мікроелементів.

Хід аналізу

1. На технічних вагах відважують 5 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито з діаметром отворів 1 мм.

2. Переносять наважку в колбу на 100 мл.

3. Доливають 50 мл ацетатно-амонійного буферного розчину з *pH* 4,8. Співвідношення ґрунт – розчин – 1 : 10.

4. Суспензію збовтують на ротаторі протягом 1 год (або настоюють протягом однієї доби). Одержану суспензію фільтрують через сухий складчастий беззолний фільтр (*білу стрічку*) в пробірку, першими порціями фільтрату споліскують пробірку, потім їх відкидають. В одержаному фільтраті визначають мікроелементи атомно-абсорбційним методом.

5. Водночас ставлять холостий дослід (дослід без ґрунту), здійснюючи всі стадії аналізу.

Визначення Co, Cu, Ni у деяких ґрунтах, а також Pb і Cd майже в усіх ґрунтах в ацетатно-амонійному буферному розчині прямим методом утруднене або зовсім неможливе через дуже низький вміст цих елементів. У таких випадках застосовують попереднє концентрування (див. далі).

Реагенти

- 98 %-на оцтова кислота.
- 25 %-й аміак водний.
- Ацетатно-амонійний буферний розчин із *pH* 4,8: у колбу ємністю 1 л, заповнену бідистильованою водою наполовину її об'єму, додають 108 мл оцтової кислоти та 75 мл аміаку. Після охолодження доводять до мітки бідистильованою водою. Вимірюють *pH* і, якщо необхідно, доводять його до значення 4,8.

Приготування розчинів для аналізу

Визначення вмісту важких металів методом полуменевої атомної абсорбції здійснюють у розчинах, які іноді варто розбавляти або концентрувати.

Розведення проводять у випадку, якщо концентрація дослідженого елемента в аналізованому розчині перевищує концентрацію в найбільшому градуєвальному стандартному розчині. Проби розбавляють 1 %-м розчином HNO₃. Якщо проби розводять не більше ніж у 10 разів, допускають використання бідистильованої води.

Концентрування проб здійснюють у випадку, якщо в них концентрація дослідженого елемента знаходиться близько або нижче межі виявлення, а необхідно одержати точні значення вмісту елемента в зразку. Якщо в приладі відсутній коректор фонового поглинання, варто концентрувати аналізовані розчини в разі визначення плумбуму, кадмію, нікелю й кобальту.

Концентрування проводять методом екстракції або випарювання. У всіх операціях із концентрування використовують стандартні розчини з концентрацією елемента, який визначають, у 2–5 разів нижче рівня мінімального градуєвального стандартного розчину, а також нульовий стандарт.

Екстракційне концентрування: у склянки ємністю 100 мл поміщають аліквоти досліджуваних і стандартних розчинів (10–50 мл), доводять їх об'єм до 50 мл 1 %-м розчином HNO₃, додають по 10 мл 0,5 %-го розчину лимонної кислоти, по 2–3 краплі 1 %-го розчину фенолфталеїну і доливають по краплях 5 %-й розчин аміаку до появи слабого рожевого забарвлення. Розчини переносять у ділильні лійки об'ємом 100 мл, доливають по 5 мл розчину діетилдитіокарбамату натрію і по 5 мл ефіру, струшують їх протягом 1 хв. Органічні екстракти збирають у пробірки й відразу закривають пробками.

У випадку *концентрування випарюванням* у склянки ємністю 50 мл поміщають аліквоти досліджуваних і стандартних розчинів (15–20 мл), додають по 1 мл розчину HNO₃ (1 : 1) і нагрівають на водяній бані (або електроплитці) до

утворення вологих солей, які розчиняють у мінімальному об'ємі 1 %-го розчину HNO_3 (або хлоридної кислоти) і кількісно переносять тією самою кислотою в мірну пробірку місткістю 5–10 мл.

Реагенти для розведення або концентрування

- Аміак водний (х. ч.), 5 %-й розчин: 215,4 мл 25 %-го NH_4OH доводять до 1 л дистиллятом.
- Кислота нітратна (ос. ч.), 1 %-й розчин у бідистильованій воді: 10,8 мл концентрованої HNO_3 (густ. 1,4; 65,6 мас. %) доводять дистиллятом до 1 л.
- Кислота лимонна (х. ч.), 0,5 %-й розчин у бідистильованій воді (свіжо-приготований).
- Фенолфталеїн, 1 %-й розчин: 1 г індикатора розчиняють у 100 мл 96 %-го етилового спирту.
- Ізоаміловий ефір оцтової кислоти (ч.) або бутиловий ефір оцтової кислоти (ч.).
- Натрію N,N-діетилдитіокарбамат (ч. д. а.), 0,5 %-й розчин у бідистильованій воді (свіжоприготований).

Приготування калібрувальних розчинів

Для приготування стандартних розчинів використовують вихідні розчини зі вмістом елемента 1 г/л, які зберігають не більше одного року. Стандартні розчини із вмістом 0,01 г/л змінюють щомісяця.

Для аналізу використовують реактиви кваліфікації ч. д. а. та х. ч.; усі розчини кислот, металів і їх солей готують на бідистильованій воді.

Вихідні стандартні розчини зі вмістом елемента 0,1 г/л

Кадмій¹. Розчиняють 0,1141 г (або 0,2282 г) висушеного за 105 °С х. ч. $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ у 10 мл концентрованої HCl і доводять об'єм водою до 500 (1000) мл.

Нікол. Розчиняють 0,2392 г (або 0,4784 г) висушеного за 105 °С х. ч. сірчано-кислого ніколу $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ у дистилляті й доводять об'єм водою до 500 (1000) мл.

Плюмбум. У мірній колбі на 1 л розчиняють 0,1342 г солі PbCl_2 дистильованою водою і об'єм доводять до мітки.

Купрум. 0,3929 г перекристалізованого х. ч. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у підкисленому бідистилляті концентрованими сульфатною (2 мл) або хлоридною (30 мл) кислотою в мірній колбі до 1 л.

Манган. Наважку перманганату калію KMnO_4 масою 0,2877 г розміщують у хімічний стакан ємністю 250 (300) мл і розчиняють у приблизно 150 мл 5 %-го

¹ Солі й розчини кадмію, плюмбуму і ніколу дуже токсичні, тому слід бути дуже обережним під час їх використання.

розчину H_2SO_4 ¹. У стакан додають, перемішуючи, 2–4 краплі 3 %-го розчину H_2O_2 . Коли вміст стакана знебарвиться, його декілька хвилин кип'ятять до повного руйнування надлишку перекису водню. Вміст стакана охолоджують і кількісно за допомогою 5 %-го розчину H_2SO_4 переносять у мірну колбу ємністю 1 л. Вміст колби доводять 5 %-м розчином H_2SO_4 до мітки й ретельно перемішують. Розчини з меншою концентрацією одержують розбавленням вихідного стандартного розчину водою.

Ферум. Наважку (х. ч.) залізо-амонійних галунів $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ масою 0,8635 г розчиняють в 1 л 5 %-го розчину H_2SO_4 і ретельно перемішують.

Цинк. Наважку металевого Zn масою 0,1000 г розміщують у мірну колбу на 1 л, доливають 50–100 мл дистильованої води, підкисленої 1 мл концентрованої H_2SO_4 . Дають розчину постояти деякий час, щоб відбулося повне розчинення цинку (це здійснюють під тягою), після чого додають дистиллят, перемішують і доводять розчин до мітки.

Робочі стандартні розчини № 1

зі вмістом елемента 0,02 г/л (0,02 мг/мл = 20 мкг/мл)

Після перемішування вихідного стандартного розчину піпеткою відбирають його 20 мл, переносять у мірну колбу на 100 мл, додають декілька краплин концентрованої кислоти (якщо її доливали у вихідний розчин), доводять розчин водою до мітки й ретельно перемішують. Такі розчини можна готувати безпосередньо в день аналізу.

Робочі стандартні розчини № 2

У день проведення аналізу зі стандартного розчину зі вмістом елемента 20 мкг/мл готують не менше 5–7 калібрувальних розчинів. Наведемо приклади розрахунку концентрацій² визначуваних елементів, що містяться в стандартних розчинах.

Кадмій³

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією Cd 0,02 мг/мл, мл	Концентрація Cd у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	2	0,4
2	3,5	0,7
3	5	1,0
4	10	2,0
5	20	4,0
6	30	6,0

¹ 5 %-й розчин H_2SO_4 готують розчиненням 29,3 мл концентрованої кислоти в 1 л розчину.

² Концентрацію елемента в розчині розраховують як відношення добутку об'єму взятого розчину (мл) на відповідну його концентрацію (мг/мл) до об'єму мірної колби (мл).

³ У кожну колбу додають 20 мл холостого калібрувального розчину, доводять водою до мітки й добре перемішують.

Нікол¹

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією <i>Ni</i> 0,02 мг/мл, мл	Концентрація <i>Ni</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	0,1	0,02
2	0,5	0,10
3	0,9	0,18
4	1,5	0,30
5	3	0,60
6	5	1,00
7	7	1,40

Плюмбум¹

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією <i>Pb</i> 0,02 мг/мл, мл	Концентрація <i>Pb</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	0,1	0,02
2	0,5	0,10
3	0,9	0,18
4	1,5	0,30
5	3	0,60
6	5	1,00
7	7	1,40

Манган

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією <i>Mn</i> 0,02 мг/мл, мл	Концентрація <i>Mn</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	1,5	0,3
2	2,5	0,5
3	3,5	0,7
4	5	1,0
5	15	3,0
6	25	5,0
7	35	7,0
8	45	9,0

¹ У кожному колбу додають 20 мл холостого калібрувального розчину, доводять водою до мітки й добре перемішують.

Купрум*Область малих концентрацій*

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією <i>Cu</i> 0,02 мг/мл, мл	Концентрація <i>Cu</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	20	4,0
2	30	6,0
3	40	8,0
4	50	10,0
5	60	12,0
6	70	14,0

Область великих концентрацій

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією <i>Cu</i> 0,1 мг/мл, мл	Концентрація <i>Cu</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	15	15,0
2	25	25,0
3	35	35,0
4	55	55,0
5	75	75,0
6	80	80,0

Ферум*Область малих концентрацій*

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією <i>Fe</i> 0,02 мг/мл, мл	Концентрація <i>Fe</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	0,7	0,14
2	1,0	0,20
3	3,0	0,40
4	5,0	0,60
5	7,0	1,00

Область великих концентрацій

№ колби	Кількість вихідного робочого розчину з концентрацією <i>Fe</i> 0,1 мг/мл, мл	Концентрація <i>Fe</i> у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	1,0	1,0
2	3,0	3,0
3	5,0	5,0
4	7,0	7,0
5	9,0	9,0

Цинк¹

Область малих концентрацій

Із робочого стандартного розчину № 1, який містить цинк з концентрацією 20 мкг/мл піпеткою відбирають 10 мл, переносять у мірну колбу на 100 мл, доводять розчин водою до мітки і ретельно перемішують. Такий робочий стандартний розчин № 2 з вмістом елемента 2 мкг/мл готують безпосередньо в день аналізу.

№ колби	Кількість робочого розчину № 2 з концентрацією Zn 0,002 мг/мл, мл	Концентрація Zn у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	3	0,06
2	5	0,10
3	7	0,14
4	9	0,18
5	11	0,22
6	13	0,26
7	15	0,30
8	2	0,40

Область великих концентрацій

№ колби	Кількість робочого розчину № 1 з концентрацією Zn 0,02 мг/мл, мл	Концентрація Zn у готовому розчині № 2 у мірній колбі на 100 мл, мкг/мл
1	3	0,6
2	9	1,8
3	15	3
4	25	5
5	35	7
6	45	9
7	55	11
8	75	15

Холостий розчин для калібрування. У мірній колбі місткістю 1 л до 500 мл води доливають 210 мл концентрованої HCl і 70 мл концентрованої HNO₃ і доводять водою до мітки. Відбирають 200 мл розчину й знову доводять водою до об'єму 1 л. Одержують холостий розчин для калібрування, розведений 1 : 4.

¹ У кожному колбу додають 20 мл холостого калібрувального розчину, доводять водою до мітки й добре перемішують.

4.10.2. Розрахунок вмісту мікроелементів

Для порівняння дослідних даних із літературними традиційно складалася стандартна форма подання результатів для кожного типу аналізу ґрунтів, яка залежить від вмісту елемента й форми його сполук у ґрунті. Наприклад, загальний вміст таких елементів, як Fe, Si, Al, Ca, Mg (іноді Mn, Ti, P, N), розраховують у грамах на 100 г ґрунту ($g/100 g$; у відсотках). Якщо йдеться про вміст цих елементів у витяжках із ґрунту, то нерідко його виражають у міліграмах на 100 г ґрунту ($mg/100 g$). Загальний вміст і вміст рухомих форм мікроелементів Cu, Zn, I, Co, B та інших виражають у міліграмах на 1 кг ґрунту (mg/kg), хоча деякі дослідники рекомендують указувати загальний вміст у відсотках.

Вміст мікроелемента розраховують за формулами

– визначення в аліквоті:

$$C, \text{ мг/кг} = \frac{(C_1 - C_{\text{хол.}}) V_0 \cdot 1000}{m V_{\text{ал.}} \cdot 1000} K_{\text{H}_2\text{O}},$$

$$C, \% = \frac{(C_1 - C_{\text{хол.}}) V_0 \cdot 100}{m V_{\text{ал.}} \cdot 10^6} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

– визначення в аліквоті у випадку розведення:

$$C, \text{ мг/кг} = \frac{(C_1 - C_{\text{хол.}}) V_0 r \cdot 1000}{m V_{\text{ал.}} \cdot 1000} K_{\text{H}_2\text{O}},$$

$$C, \% = \frac{(C_1 - C_{\text{хол.}}) V_0 r \cdot 100}{m V_{\text{ал.}} \cdot 10^6} K_{\text{H}_2\text{O}};$$

– визначення в разі розведення:

$$C, \text{ мг/кг} = \frac{(C_1 r - C_{\text{хол.}}) V_0 \cdot 1000}{m \cdot 1000} K_{\text{H}_2\text{O}},$$

$$C, \% = \frac{(C_1 r - C_{\text{хол.}}) V_0 \cdot 100}{m \cdot 10^6} K_{\text{H}_2\text{O}},$$

де C – вміст елемента;

C_1 – концентрація металу, знайдена за калібрувальним графіком, мкг/мл;

$C_{\text{хол.}}$ – концентрація металу, знайдена за калібрувальним графіком у холостому досліді, мкг/мл;

V_0 – об'єм загальної кількості води, яку додавали до ґрунту під час приготування витяжки, мл;

r – коефіцієнт розбавлення ($r = 1$, якщо розчин не розбавлений);

$V_{\text{ал.}}$ – об'єм витяжки, взятий для аналізу, мл;

1000 (у чисельнику) – коефіцієнт перерахунку грамів на кілограми;

- 1000 (у знаменнику) – коефіцієнт перерахунку мікрограмів на міліграми;
 m – наважка повітряно-сухого ґрунту, г;
 100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки;
 10^6 – коефіцієнт перерахунку мікрограмів на грами;
 K_{H_2O} – коефіцієнт перерахунку на абсолютно суху наважку.

Примітка. Для зручності можна перераховувати відсотковий вміст елемента на вміст елемента, виражений у міліграмах на кілограми. Достатньо відсоткове значення помножити на коефіцієнт 10^4 , а саме $a\% \cdot 10^4 = C$ мг/кг.

Вважаємо за необхідне відзначити, що в ході вивчення рухомих (і валових) форм сполук мікроелементів їх вміст може бути виражений у системній одиниці моль на кілограм (або мілімоль на кілограм). Це положення не потребує додаткового особливого пояснення, оскільки *хімічна взаємодія відбувається між атомами та молекулами і її результат залежить від числа атомів (молекул), що вступають у реакцію, а не від їх загальної маси.* Наприклад, розглянемо, як можуть змінюватись кількісні показники вмісту мікроелементів дощових черв'яків (табл. 4.10.1). Так, знайдений середній вміст кадмію і п्लомбуму, виражений в одиницях маси, свідчить про переважання у тваринах п्लомбуму. Але якщо врахувати мольну масу кожного елемента, то кількість п्लомбуму майже в 2 рази менша, ніж кількість кадмію. *На це необхідно звертати увагу під час порівняння вмісту різних елементів.*

Таблиця 4.10.1

Середній вміст деяких мікроелементів у представниках дощових черв'яків *Lumbricus terrestris*

Елемент	Мольна маса, г/моль	Середній валовий вміст, мг/кг абсолютно сухої наважки	Кількість речовини, ммоль/кг
Купрум	63,55	427	6,71
Цинк	65,37	618	9,45
Молібден	95,94	3,5	0,036
Кадмій	112,4	10,2	0,091
Плюмбум	207,2	10,9	0,053

Примітка. Для того щоб перерахувати вміст елемента (міліграми) на кількість речовини (мілімоль), необхідно знайдену масу в міліграмах поділити на масу 1 моль елемента.

Описаний спосіб вираження вмісту елементів за кількістю речовини, а не за масою дозволяє отримати адекватне уявлення про реальний вклад різних елементів у будову живого (або ґрунтового) тіла або про їх участь у ґрунтово-хімічних чи біохімічних процесах, а також розкрити специфіку характеру, інтенсивності та спрямованості досліджуваних процесів і явищ.

4.11. БУФЕРНІСТЬ ҐРУНТУ

Буферність ґрунту – це здатність підтримувати властиву йому реакцію в разі додавання кислоти або лугу. Більш загальне визначення буферності включає також незалежність реакції середовища від розведення. Залежність реакції водної суспензії ґрунту від кількості доданої до неї кислоти (HCl) або лугу (NaOH) наведена далі у вигляді кривих буферності (рис. 4.11.1). У випадку дії води на чистий пісок величина її pH не змінюється. Додавання невеликих кількостей кислоти різко змінює значення pH до 1,5–2. Потім величина pH змінюється поступово.

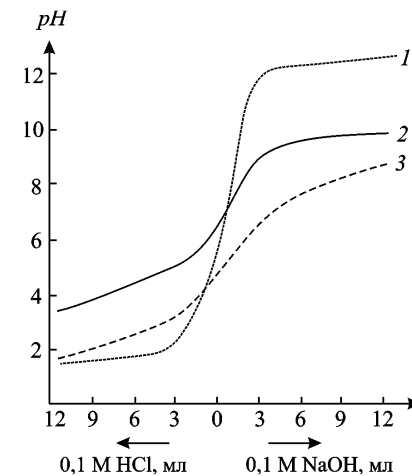


Рис. 4.11.1. Криві буферності ґрунтів:

1 – чистий пісок; 2 – чорнозем звичайний, гор. А₁; 3 – дерново-підзолистий ґрунт, гор. А₁

Під час додавання лугу також наявна різка зміна pH . Значення pH на кривій буферності піску практично відповідають pH водних розчинів кислоти або лугу. Інша картина спостерігається в ході вивчення властивостей ґрунтів.

Буферність ґрунту має велике практичне значення. Якщо ґрунт має низьку буферність (піщані, дерново-борові, дерново-степові, дерново-підзолисті, алювіальні ґрунти прируслових валів заплав), тобто різко змінюється його кислотно-основна реакція, це може впливати певним чином на формування фауни ґрунтових безхребетних, представники якої здатні витримувати перепади кислотно-основних умов.

Слабкобуферні ґрунти мають нестійку реакцію середовища, що швидко й значно змінюється внаслідок випадання дощів, поливів, внесення добрив та інших впливів. У ряді випадків це може негативно позначатись на рослинності й тваринах, які мешкають на цих ґрунтах. Ґрунти з високою буферністю забезпечують стабільні кислотно-основні умови для сільськогосподарських культур, але в разі

несприятливої реакції середовища вони вимагають внесення більш високих доз меліоративних засобів.

Основними компонентами ґрунту, які обумовлюють буферність, є тонкодисперсні мінеральні частки, що визначають її механічний склад, органічна речовина (гумус), а також кислотність (pH). Наприклад, механічний склад обумовлює більш високу буферність важких ґрунтів щодо легких. Буферність належить до властивостей ґрунтів, що значною мірою впливають на міграцію й акумуляцію токсичних елементів.

4.11.1. Визначення буферності ґрунту за Арреніусом

Усі методи визначення буферності ґрунтів засновані на встановленні зрушення величин pH ґрунтів або ґрунтових суспензій унаслідок додавання до них кислот або лугів. Варіанти сучасних методів розрізняють за характером використаних реактивів (наприклад, KOH , $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$), часом та умовами взаємодії з ґрунтом і за обраною базисною лінією відліку. Як базисну лінію часто беруть криву титрування суспензії піску.

Метод Арреніуса придатний для визначення буферної здатності кислих, нейтральних і лужних ґрунтів. Для аналізу беруть серію наважок ґрунтів і доливають розчини кислоти або лугу різної концентрації. Після настання рівноваги в суспензіях визначають величину pH . Кількість долитої кислоти або лугу та відповідні їм значення pH наносять на графік. Одержують криву залежності $\Delta C-pH$, тобто криву буферності ґрунтів, і порівнюють її з кривою буферності чистого піску.

Хід роботи

1. На технічних терезах відважують 13 зразків ґрунту по 10 г і переносять їх у плоскодонні колби місткістю 100 мл (співвідношення *наважка – рідина* – 1 : 2,5).

2. Загальна кількість розчину (*вода–кислота* або *вода–луг*) має бути стала, тому до наважок ґрунту додають різні кількості дистильованої води без CO_2 . У першу колбу наливають тільки воду (25 мл), в інші шість – 16; 17,5; 19; 20,5; 22; 23,5 мл води. У ці ж колби доливають 9; 7,5; 6; 4,5; 3; 1,5 мл 0,1 М розчину HCl відповідно. У шість колб, що залишилися, додають 16; 17,5; 19; 20,5; 22; 23,5 мл води і відповідно 9; 7,5; 6; 4,5; 3; 1,5 мл 0,1 М розчину $NaOH$.

3. Такі самі операції здійснюють і з чистим (кварцовим) піском.

4. Колби щільно закривають пробками і струшують на ротаторі протягом 1 год, після чого дають осісти великим часткам суспензії і в надосадовій рідині визначають величину pH . Результати виміру записують (табл. 4.11.1).

5. За результатами вимірювань будують графік, відкладаючи за абсцисою кількість мілілітрів доданої кислоти (або лугу), а за ординатою – відповідні їм величини pH . Для порівняння буферної здатності різних ґрунтів криві будують в одному масштабі: у 1 см – 1 мл HCl (або $NaOH$); у 1 см – 1 од. pH .

Таблиця 4.11.1

Результати вимірів буферності дерново-підзолистого ґрунту (гор. А₁, 2–11 см)

Реактив	Номер колби												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Кількість реактиву в колбі, мл												
H_2O	16	17,5	19	20,5	22	23,5	25	23,5	22	20,5	19	17,5	16
0,1 М HCl	9	7,5	6	4,5	3	1,5	–	–	–	–	–	–	–
0,1 М $NaOH$	–	–	–	–	–	–	–	1,5	3	4,5	6	7,5	9
	pH												
	2,25	2,69	2,96	3,19	3,50	4,03	4,90	5,98	6,74	7,27	7,66	8,01	8,42

Буферність ґрунтів оцінюють за “площею буферності” в області кислотного і лужного інтервалів (рис. 4.11.2), яку визначають як площу між кривими титрування ґрунту (експериментального зразка) і піску (еталона).

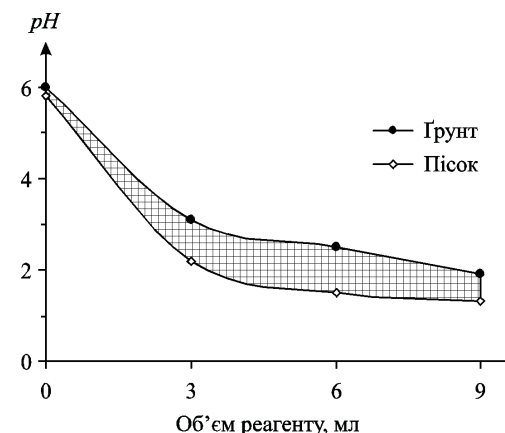


Рис. 4.11.2. Площа буферності зразка ґрунту, який піддавали дії 0,1 М розчину HCl (кислотне плече буферної зони)

Реагенти

- Дистильована вода.
- Розчин $NaOH$ з концентрацією 0,1 моль/л: готують із фіксаналу або беруть 4 г $NaOH$ (х. ч.) і розчиняють у воді, що не містить CO_2 , потім доводять об'єм дистильованою водою до 1 л.
- Розчин HCl з концентрацією 0,1 моль/л: готують із фіксаналу або 8,2 мл концентрованої хлоридної кислоти HCl (х. ч.), доводячи дистильованою водою до 1 л.

4.11.2. Приклад розрахунку площі буферності та інтерпретації результатів

Необхідно визначити площу буферності для експериментального зразка ґрунту. Тип ґрунту – дерново-підзолистий. Як стандарт-контроль використовували очищений прожарений пісок. Результати вимірювань водневого показника наведені далі (табл. 4.11.2).

Таблиця 4.11.2

Значення рН для зразка-стандарту та зразка ґрунту, за якими розраховують буферність

Реактив	Об'єм доданого реактиву, мл	рН	
		піску	ґрунту
0,1 М розчин HCl /	0	5,8/5,8	6,0/6,0
	1,5	3,5/9,6	4,1/6,8
0,1 М розчин NaOH	3,0	2,2/11,7	3,1/7,4
	4,5	1,6/12,6	2,7/7,8
	6,0	1,5/12,8	2,5/8,1
	7,5	1,5/12,9	2,3/8,4
	9,0	1,3/13,5	1,9/8,9

Крім спрощеного й наближеного варіанта розрахунку площі буферності за прямолінійними трапеціями можна застосувати метод числового інтегрування. Задачу розв'язують одним із двох способів: 1) знаходженням апроксимуючих поліномів і розв'язанням інтегралів; 2) із застосуванням формули Сімпсона.

Перший спосіб. Алгоритм розрахунку поліномів вичерпно викладений у відповідних виданнях із математики і реалізований у таких пакетах прикладних статистичних програм, як *Statistica*, *StatGraphics Plus*, *SPSS* тощо. Степень полінома має бути обмежений (достатньо вибрати залежність 3-го або 4-го степеня). У протилежному разі оперувати громіздким поліномом буде важко.

Для вищенаведеного прикладу одержуємо поліноми

– кислотне плече:

$$\text{ґрунт} \quad y = 6,00173 - 1,67855x + 0,304209x^2 - 0,0234194x^3 + 0,000523756x^4;$$

$$\text{еталон (пісок)} \quad y = 5,80714 - 1,95714x + 0,295238x^2 - 0,0148148x^3;$$

– лужне плече:

$$\text{ґрунт} \quad y = 5,99978 + 0,59798x - 0,0387205x^2 - 0,00314254x^3 + 0,000448934x^4;$$

$$\text{еталон (пісок)} \quad y = 5,79048 + 3,26032x - 0,51164x^2 + 0,0271605x^3,$$

де y – значення рН; x – кількість реактиву, мл.

Застосовуючи програмний продукт, наприклад пакет *Mathematica*, проінтегруємо кожну функцію і знайдемо площу:

– кислотного плеча:

$$\text{ґрунт} \quad \int_0^9 (6,00173 - 1,67855 * x + 0,304209 * x^2 - 0,0234194 * x^3 + 0,000523756 * x^4) dx = 27,73 \text{ (см}^2\text{)};$$

$$\text{еталон (пісок)} \quad \int_0^9 (5,80714 - 1,95714 * x + 0,295238 * x^2 - 0,0148148 * x^3) dx = 20,44 \text{ (см}^2\text{)};$$

площа буферності кислотного плеча – $27,73 - 20,44 = 7,29 \text{ см}^2$;

– лужного плеча:

$$\text{ґрунт} \quad \int_0^9 (5,99978 + 0,59798 * x - 0,0387205 * x^2 - 0,00314254 * x^3 + 0,000448934 * x^4) dx = 68,95 \text{ (см}^2\text{)},$$

$$\text{еталон (пісок)} \quad \int_0^9 (5,79048 + 3,26032 * x - 0,51164 * x^2 + 0,0271605 * x^3) dx = 104,38 \text{ (см}^2\text{)};$$

площа буферності лужного плеча – $|68,95 - 104,38| = 35,43 \text{ см}^2$.

Загальна площа буферності зразка – $7,29 + 35,43 = 42,7 \text{ см}^2$.

Другий спосіб. Для обчислення площі будь-якої криволінійної трапеції можна застосувати формулу Сімпсона:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{b-a}{6n} \left[(y_0 + y_{2n}) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{2n-2}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{2n-1}) \right].$$

У квадратних дужках крайні ординати беруть із коефіцієнтом “1”, інші ординати з парними індексами – з коефіцієнтом “2”, непарними індексами – з коефіцієнтом “4”.

Примітка. Для розрахунку площі за формулою Сімпсона необхідна непарна кількість ординат. Якщо ординат 5, то $n = 2$, оскільки відлік починається з y_0 , а закінчується y_4 (останню ординату можна записати як $y_{2 \times 2}$), якщо ординат 7, то $n = 3$ і т. д.

Розрахуємо площу кислотного плеча за допомогою формули Сімпсона, яка матиме для ґрунту й стандарту відповідно такий вигляд:

$$\int_a^b f_1(x) dx = \frac{9-0}{6 \cdot 3} [(6,0 + 1,9) + 2(3,2 + 2,5) + 4(4,1 + 2,7 + 2,3)] = 27,75;$$

$$\int_a^b f_2(x) dx = \frac{9-0}{6 \cdot 3} [(5,8+1,3)+2(2,2+1,5)+4(3,5+1,6+1,5)] = 20,45.$$

Отже, площа буферності в області кислотного інтервалу дорівнює $27,75 - 20,45 = 7,30 \text{ см}^2$.

Один із основних показників буферності – природна буферна здатність, яку розраховують за рівнянням (за Надточим)

$$\text{БЗ}_{\text{п}} = \frac{\int_a^b (f(x_1) - f(x_2))}{\int_a^b f(x_2)} \cdot 100,$$

де $\text{БЗ}_{\text{п}}$ – природна буферна здатність, %;

$\int_a^b (f(x_1) - f(x_2))$ – площа буферності дослідного зразка в кислотному або основному діапазоні, см^2 ;

$\int_a^b f(x_2)$ – площа, утворена кривою еталонного зразка в кислотному або основному діапазоні, см^2 .

П. П. Надточий запропонував таку шкалу оцінки природної кислотно-основної буферності.

Оцінка показника	Кислотний інтервал, %	Лужний інтервал, %
Дуже низька	< 15	< 10
Низька	16–40	11–30
Середня	41–60	31–50
Висока	61–80	51–70
Дуже висока	> 81	> 71

Природна буферна здатність у вищенаведеному прикладі для кислотного інтервалу становить $(7,3/20,45) \cdot 100 = 35,7 \%$, для лужного $(35,43/104,4) \cdot 100 = 33,9 \%$.

Таким чином, на основі визначення буферності можна зробити висновок щодо кислотно-основної сталості ґрунту. У випадках, коли площа буферності мінімальна, ґрунти слабко придатні для сільськогосподарської діяльності. Навпаки, ґрунти з високою буферністю забезпечують стабільні кислотно-основні умови, сприятливі для росту й розвитку сільськогосподарських культур і певних природних рослинних угруповань.

4.12. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТОВОЇ МАСИ, ЯКІ ОБУМОВЛЮЮТЬ ІСНУВАННЯ ҐРУНТОВОЇ БІОТИ

Фізичні властивості ґрунтів взаємопов'язані з усіма структурними компонентами лісового біогеоценозу: фіто-, зоо-, мікробіоценозом, кліматом. Комплекс фізичних властивостей ґрунту визначають його фізичний і екологічний стан. Фізичні властивості мають важливе лісорослинне значення і у своїй сукупності, а також за проявом часто є екологічним чинником.

Вплив тварин (зооценозу) на фізичні властивості ґрунтів відбувається за рахунок витоптування, розпушування, переміщення ґрунтових мас та інших процесів, у яких беруть участь представники ґрунтових, наземно-ґрунтових і наземних тварин. Наприклад, для ґрунтових викидів землерийкових характерні специфічні фізичні й хімічні властивості, особливі мікрокліматичні умови, які відрізняються за цими показниками від власне ґрунтів під цими викидами. Під час пересування педофауни в товщі ґрунту відбувається вертикальне й горизонтальне його переміщення, що прискорює біологічний кругообіг речовин і енергії в лісовому біогеоценозі. Щільність ґрунтового субстрату затримує випаровування вологи й знижує амплітуду добових і сезонних коливань температури, що дуже важливо для стенобіонтних форм.

Педотурбації, рийна та трофо-метаболична діяльність зооценозу змінюють не тільки хімічні, але й фізичні властивості едафотопу (гранулометричний склад, щільність, твердість, пористість, водопроникність і відповідно водно-повітряний і тепловий режими), а також можуть посилювати біологічну активність ґрунту та впливати на оптимізацію його екологічного балансу.

Фізичний стан ґрунтів як екологічний фактор впливає на взаємозв'язки біоти та значною мірою обумовлює формування зооценозу, особливо педофауни. У піщаних ґрунтах у зв'язку з їх низькою зв'язністю тваринам важко будувати ґрунтові ходи й домівки (осипання, швидке руйнування тощо). Глинистим ґрунтам, навпаки, характерна висока зв'язність і твердість, що потребує від тварин додаткових витрат енергії і морфофізіологічних адаптацій під час пересування в таких ґрунтах. Установлено, що відсутність оструктурених ґрунтових шарів, мізерні величини муистої і пилуватої гранулометричних фракцій, провальна фільтраційна здатність ґрунту роблять його малопридатним для заселення люмбрицидами. Тому найбільш різноманітний склад зооценозу, як правило, у лісових біогеоценозах із ґрунтами супіщаного й суглинного гранулометричного складу, яким притаманні переважно сприятливі фізичні властивості.

Зі складом ґрунтів безпосередньо пов'язані деякі їх фізичні властивості, що характеризують морфологічний вигляд і відносно просто визначаються в процесі польового опису ґрунтів. Вони дають певні уявлення про склад ґрунту й насамперед щільність розташування часток і агрегатів, з одного боку, а з іншого, – про стійкість форми ґрунтових агрегатів у разі різних зовнішніх впливів. Це такі властивості ґрунтової маси, як *консистенція* (у тому числі липкість і пластичність) і

твердість (щільність) складу. Оскільки ці властивості значною мірою залежать від ґрунтової вологості, то й описують їх за умов певного стану вологості ґрунту.

Консистенція ґрунту – сукупність властивостей, яких набуває ґрунт у результаті дії сил зчеплення і які насамперед позначаються на опорі ґрунту зміні форми (Кундлер, 1969). Консистенція ґрунту залежить:

а) від механічного складу (піщані ґрунти не здатні зберігати постійну форму навіть у разі зволоження, а глинисті добре зберігають форму за умов великого діапазону вологості);

б) складу глинистих мінералів;

в) поглинального комплексу, його насиченості катіонами;

г) ступеня гумусованості й типу гумусу;

д) вмісту вільних колоїдів, полуторних оксидів;

е) ступеня й характеру мікро- та макроагрегованості.

Консистенцією називають фізичний, а точніше агрегатний стан речовини. Цей термін звичайно застосовують щодо речовин, які за своїми властивостями відрізняються від типових твердих або рідких тіл. Існують міри консистенції, що є мірами “твердоподібності” й “рідиноподібності” речовини. Консистенція ґрунту досить мінлива в часі й залежить більше від стану вологості ґрунту, але вона є важливою діагностичною ознакою, тому що пов’язана з більш стійкими, ніж вологість, властивостями: текстурою, особливостями поглинального комплексу, характером органічних й органо-мінеральних сполук.

Розрізняють два види консистенції ґрунту – липкість і пластичність. Липкість і пластичність ґрунту, обумовлені комплексом параметрів його складу й фізико-хімічних властивостей, мають велике значення для формування ґрунтової структури. Нелипкий або сильнолипкий ґрунт має погано виражену структуру (або зовсім безструктурний); роздільночастковий у першому випадку й масивний – у другому. Слабколипкий і липкий ґрунти мають тенденцію до утворення добре оформленої структури з високою порізністю.

Твердість ґрунту – протидія ґрунту стиску, поштовхам, ударам, розриву, згинанню й ламанню. У ґрунтознавстві існують кілька підходів до розуміння й визначення твердості ґрунту. Наприклад, науковці США розрізняють два види твердості ґрунту: 1) щільність складу (консистенція) у вологому стані; 2) твердість (консистенція) в сухому стані. Ці два параметри визначають у полі різними способами. Кількісне вимірювання твердості ґрунту здійснюють за допомогою спеціального приладу – твердоміра й виражають у кілограмах на 1 см².

4.12.1. Якісне визначення консистенції ґрунту

Липкість – здатність ґрунтової маси прилипати до інших предметів (у польових умовах визначають шляхом здавлювання сирого ґрунту між великим і вказівним пальцями). Виділяють чотири градації липкості ґрунту:

• нелипкий – після здавлювання не залишається на пальцях;

• слаболипкий – після здавлювання на обох пальцях залишається небагато прилиплої маси, але він легко відвалюється, залишаючи пальці чистими;

• помірно липкий – після здавлювання на пальцях залишається прилиплий матеріал, що потім відвалюється, пальці розтискаються з певним зусиллям;

• сильнолипкий, дуже липкий – після здавлювання на пальцях залишається сильноприлиплий матеріал, а пальці розтискаються з великим зусиллям.

Пластичність – здатність ґрунтової маси змінювати свою форму під впливом зовнішньої дії і стійко зберігати її після припинення цієї дії. У польових умовах пластичність визначають шляхом скочування ґрунтової маси в стані зволоження трохи вище польової вологоємності (сирого ґрунту) у шнур. Установлені п’ять градацій пластичності ґрунту:

• непластичний – ґрунтовий матеріал не скочується в шнур;

• дуже слабопластичний – ґрунтовий матеріал погано скочується в шнур завтовшки не менше 8 мм;

• слабопластичний – ґрунтовий матеріал відносно погано скочується в шнур завтовшки 3 мм і дуже легко деформується;

• помірно пластичний, пластичний – ґрунтовий матеріал легко скочується в шнур завтовшки 1–2 мм і деформується із зусиллям;

• сильнопластичний – ґрунтовий матеріал легко скочується в шнур завтовшки менше 1 мм і деформується лише в разі сильного здавлювання.

4.12.2. Визначення твердості (щільності) ґрунту

Якісне визначення твердості (щільності) ґрунту здійснюють такими способами.

Перший спосіб. Щільність складу визначають у *стані вологості ґрунту* між польовою вологоємністю та повітряно-сухим ґрунтом (вологий або злегка вологий) шляхом роздавлювання ґрунтової маси в руці. Існують такі градації твердості ґрунту:

• розсипчастий – незв’язний ґрунтовий матеріал;

• дуже пухкий – матеріал руйнується в разі дуже легкого здавлювання, але під час стискання не розсипається;

• пухкий – матеріал легко руйнується в разі легкого або помірного здавлювання між великим і вказівним пальцями;

• стійкий – матеріал руйнується в разі помірного здавлювання між великим і вказівним пальцями, але з помітним опором;

• дуже стійкий – матеріал руйнується в разі сильного здавлювання;

• винятково стійкий – матеріал руйнується по частинах лише у випадку дуже сильного здавлювання;

• злитий – поєднання стійкої щільності складу зі щільним розміщенням часток.

Другий спосіб. Твердість можна також визначати шляхом роздавлювання в руці ґрунтового матеріалу в *повітряно-сухому стані* за градаціями

• розсипчастий – незв’язний ґрунтовий матеріал;

- м'який – матеріал дуже слабкозв'язний і пухкий, розсипається в порошок під час дуже легкого здавлювання;
- слабкотвердий – слабкостійкий до здавлювання, легко руйнується між великим і вказівним пальцями;
- твердий – помірно стійкий до здавлювання;
- дуже твердий – руйнується рукою із зусиллям, між двома пальцями не руйнується;
- винятково твердий – не руйнується під час здавлювання рукою.

Для вітчизняної школи ґрунтознавства характерний синтетичний підхід до визначення якісної характеристики твердості ґрунту, під якою розуміють як власне твердість ґрунтової маси, так і щільність її складу. Для кількісного визначення твердості необхідний твердомір. У польових умовах твердість (щільність) ґрунту встановлюють за такими градаціями:

- дуже пухкий – повністю розпушена ґрунтова маса, у якій залишаються глибокі сліди внаслідок ступання на неї ногою; жменя вологого ґрунту в разі стикування перетворюється на невелику грудку (пухкий, розпушений ґрунт);
- пухкий – ґрунтова маса з невеликою зв'язністю часток або агрегатів, що легко розсипається; твердомір (або ніж) повністю входить у ґрунт у випадку легкого натискання;
- трохи ущільнений – ґрунтова маса добре оструктурена, її легко копати, легко розсипається з лопати; твердомір (або ніж) легко входить у ґрунт на кілька сантиметрів унаслідок незначного натискання;
- твердий – ґрунтова маса трохи пориста й безструктурна, для її копання необхідно докласти зусиль; твердомір (або ніж) із зусиллям входить у ґрунт на кілька міліметрів (до 1–2 см) за умов сильного натискання;
- дуже твердий – ґрунтова маса майже не піддається лопаті, її можна розбити лише ломом або киркою; твердомір (або ніж) не входить у ґрунт навіть у разі сильного натискання.

4.12.3. Якісне визначення вологості ґрунту в польових умовах

Вологість ґрунту, зазначена під час морфологічного опису, є динамічним показником, оскільки для неї характерне значне й швидке коливання в часі. Проте вологість ґрунту необхідно визначати не тільки кількісно, а й якісно, оскільки її величина впливає на інші важливі діагностичні морфологічні ознаки: забарвлення, консистенцію, структуру.

Разом із кількісними методами визначення вологості ґрунту існує її якісна порядкова шкала. За допомогою неї в польових умовах дослідник швидко оцінює ступінь вологості ґрунту і отримує якісну картину розподілу тих або інших тварин (їх екологічних груп і угруповань) за ступенем вологості в ґрунті.

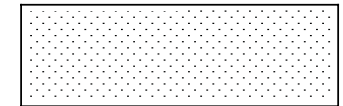
Розрізняють такі градації ступеня вологості ґрунту:

- ґрунт сухий – від дотику поверхня горизонту розпорошується;
- свіжий – під час дотику відчувається свіжість, але рука не мажеться;
- вологий – під час дотику долоня мажеться, воду візуально не помітно;
- сирий – на поверхні робочої стінки розрізу виступають окремі крапельки води;
- мокрий – зі стінок розрізу сочиться вода.

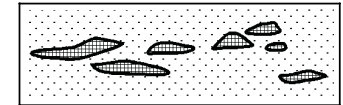
4.12.4. Методика визначення механічного складу ґрунту польовим способом (за Качинським)

У практиці ґрунтових польових досліджень механічний склад ґрунту визначають методом скочування. Ґрунт змочують і розминають пальцями до такого стану, за якого не відчутні структурні зерна. Добре розім'ятий ґрунт скочують на долоні в шнур і згортають у кільце. Товщина шнура близько 3 мм, діаметр кільця близько 3 см. За результатами скочування можна зробити такі висновки:

- шнур не утворюється – пісок;



- зачатки шнура – супісок;



- шнур дробиться під час скочування – легкий суглинок;



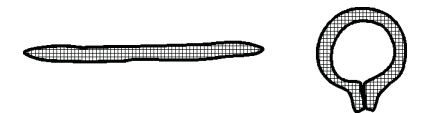
- шнур суцільний; кільце від час згортання розпадається – середній суглинок;



- шнур суцільний; кільце з тріщинами – важкий суглинок



- шнур суцільний; кільце стійке, цільне – глина.



СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ДО РОЗДІЛУ 4

- Агрохимические методы исследований* [Текст] / под ред. А. В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
- Алексеев, В. Н.* Количественный анализ [Текст] / В. Н. Алексеев / под ред. П. К. Агасяна. – Изд. 4-е, переработ. – М.: Химия, 1972. – 504 с.
- Аринушкина, Е. В.* Руководство по химическому анализу почв [Текст] / Е. В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 478 с.
- Бабьева, И. П.* Биология почв [Текст] / И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
- Белова, Н. А.* Естественные леса и степные почвы [Текст] / Н. А. Белова, А. П. Травлеев. – Д.: Изд-во ДГУ, 1999. – 343 с.
- Бельгард, А. Л.* Степное лесоведение [Текст] / А. Л. Бельгард. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
- Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья [Текст] / отв. ред. Д. А. Кривоуцкий. – М.: Наука, 1982. – 144 с.
- Біологічний азот [Текст] / В. П. Патики [та ін.]. – К.: Світ, 2003. – 422 с.
- Блэк, К. А.* Растение и почва [Текст] / К. А. Блэк. – М.: Колос, 1973. – 503 с.
- Вадюнина, А. Ф.* Методы исследования физических свойств почв [Текст] / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- Воробьева, Л. А.* Химический анализ почв [Текст]: учебник / Л. А. Воробьева. – М.: МГУ, 1998. – 272 с.
- Городній, М. М.* Агрохімічний аналіз [Текст] / М. М. Городній, М. В. Козлов, М. І. Бідзіля. – К.: Вища шк., 1972. – 268 с.
- Гриндель, Н. М.* Фотометрические методы в почвенном анализе [Текст] / Н. М. Гриндель. – М.: МГУ, 1982. – 248 с.
- Гришина, Л. А.* Трансформация органического вещества почв [Текст] / Л. А. Гришина, Г. Н. Копчик, М. И. Макаров. – М.: МГУ, 1990. – 88 с.
- Гродзінський, А. М.* Основи хімічної взаємодії рослин [Текст] / А. М. Гродзінський. – К.: Наук. думка, 1973. – 206 с.
- Добровольский, Г. В.* Экологические функции почвы [Текст] / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М.: МГУ, 1986. – 136 с.
- Жовинский, Э. Я.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины [Текст] / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – К.: Наук. думка, 2002. – 214 с.
- Зонн, С. В.* Научные основы и методические указания к биогеоценологическому изучению почв горных лесов [Текст] / С. В. Зонн, Т. Ф. Урушадзе. – Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 116 с.
- Іванців, В. В.* Структурно-функціональна організація комплексів ґрунтових олігохет західного регіону України. – Луцьк: РВВ “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2007. – 400 с.
- Карпачевский, Л. О.* Динамика свойств почвы [Текст] / Л. О. Карпачевский. – М.: Геос, 1997. – 170 с.
- Карпачевский, Л. О.* Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе [Текст] / Л. О. Карпачевский. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 312 с.

- Качинский, Н. А.* Физика почв [Текст]: в 2 ч. / Н. А. Качинский. – М.: Высш. шк., 1965. – Ч. 1. – 323 с.; 1970. – Ч. 2. – 359 с.
- Ковальский, В. В.* Геохимическая экология [Текст] / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 299 с.
- Количественные методы в почвенной зоологии / Ю. Б. Бызова [и др.]. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
- Кононова, М. М.* Органическое вещество почвы [Текст] / М. М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
- Кривоуцкий, Д. А.* Почвенная фауна в экологическом контроле [Текст] / Д. А. Кривоуцкий. – М.: Наука, 1994. – 240 с.
- Кривоуцкий, Д. А.* Животные в биогенном круговороте веществ [Текст] / Д. А. Кривоуцкий, А. Д. Покаржевский. – М.: Знание, 1986. – 64 с.
- Курчева, Г. Ф.* Роль почвенных животных в разложении и гумификации растительных остатков [Текст] / Г. Ф. Курчева. – М.: Наука, 1971. – 156 с.
- Лурье, Ю. Ю.* Справочник по аналитической химии [Текст] / Ю. Ю. Лурье. – М.: Госхимиздат, 1962. – 288 с.
- Маркушевич, А. И.* Площади и логарифмы [Текст] / А. И. Маркушевич. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 64 с.
- Матвеев, Н. М.* Аллелопатия как фактор экологической среды [Текст] / Н. М. Матвеев. – Самара: Кн. изд-во, 1994. – 206 с.
- Математические методы в биологии и почвоведении [Текст] / отв. ред. Ж. С. Ержанов. – Алма-Ата: “Наука” КазССР, 1976. – 204 с.
- Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) [Текст] / сост.: В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Центр. музей почвоведения им. В. В. Докучаева, 1975. – 105 с.
- Методические указания по обработке и интерпретации результатов химического анализа почв [Текст] / Д. С. Орлов, Г. В. Мотузова, М. С. Малинина, Л. А. Воробьева. – М.: Изд. Моск. ун-та, 1986. – 112 с.
- Методы почвенно-зоологических исследований [Текст] / отв. ред. М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1975. – 280 с.
- Михайлов, И. С.* Морфологическое описание почвы (вопросы стандартизации и кодирования) [Текст] / И. С. Михайлов. – М.: Наука, 1975. – 72 с.
- Мякина, Н. Б.* Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв [Текст] / Н. Б. Мякина, Е. В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1979. – 62 с.
- Надточий, П. П.* Определение кислотности-основности буферности почв [Текст] / П. П. Надточий // Почвоведение. – 1993. – № 4. – С. 34–39.
- Орлов, Д. С.* Практикум по химии гумуса [Текст]: учеб. пособие / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 272 с.
- Орлов, Д. С.* Химия почв [Текст]: учебник / Д. С. Орлов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с.
- Пахомов, А. Е.* Биогеоценологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины [Текст]: в 2 кн. / А. Е. Пахомов. – Д.: Изд-во ДГУ, 1998. – Кн. 2. Трофический тип влияния. Биотехнологический процесс становления экологической устойчивости эдафотопы. – 216 с.

Пинский, Д. Л. Ионнообменные процессы в почвах [Текст] / Д. Л. Пинский. – Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. – 166 с.

Покаржевский, А. Д. Геохимическая экология наземных животных [Текст] / А. Д. Покаржевский. – М.: Наука, 1985. – 304 с.

Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование [Текст] / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 221 с.

Практикум по агрохимии [Текст]: учеб. пособие / под ред. акад. В. Г. Мишеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

Практикум по почвоведению [Текст] / под ред. И. С. Кауричева. – М.: Колос, 1980. – 272 с.

Программа и методика биогеоценологических исследований [Текст] / под ред. Н. В. Дылиса. – М.: Наука, 1974. – 401 с.

Ринькис, Г. Я. Методы анализа почв и растений [Текст] / Г. Я. Ринькис, Х. К. Рамане, Т. А. Куницкая. – Рига: Зинатне, 1987. – 174 с.

Роде, А. А. Методы изучения водного режима почв [Текст] / А. А. Роде. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 241 с.

Родин, Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах [Текст] / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Л.: Наука, 1968. – 144 с.

Розанов, Б. Г. Морфология почв [Текст] / Б. Г. Розанов. – М.: МГУ, 1983. – 320 с.

Стриганова, Б. Р. Питание почвенных сапрофагов [Текст] / Б. Р. Стриганова. – М.: Наука, 1980. – 244 с.

Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере [Текст] / Г. В. Добровольский [и др.]. / отв. ред. Г. В. Добровольский. – М.: Наука, 2003. – 364 с.

Физико-химические методы исследования почв [Текст] / под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. – М.: МГУ, 1980. – 382 с.

Хазиев, Ф. Х. Ферментативная активность почв [Текст]: метод. пособие. – М.: Наука, 1976. – 180 с.

Харборн, Дж. Биохимия фенольных соединений [Текст] / Дж. Харборн. – М.: Мир, 1963. – 451 с.

Цветкова, Н. Н. Методические указания и инструкции к выполнению работ по современным методам исследования почв [Текст] / Н. Н. Цветкова, А. А. Дубина, О. Б. Мороз, Н. П. Тупика. – Д.: ДГУ, 1980. – 64 с.

Цветкова, Н. Н. Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины [Текст] / Н. Н. Цветкова. – Д.: ДГУ, 1992. – 236 с.

Чмиленко, Ф. О. Аналітична хімія ґрунтів [Текст]: Навч. посіб. / Ф. О. Чмиленко, Н. М. Смітюк. – Д.: Вид-во ДНУ, 2005. – 156 с.

Чорнобай, Ю. М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах [Текст] / Ю. М. Чорнобай. – Л.: Вид-во ДПМ НАН України, 2000. – 352 с.

ОСНОВНІ ПРАВИЛА РОБОТИ З ХІМІЧНИМ ПОСУДОМ І РЕАКТИВАМИ

- Під час роботи зі скляним посудом не можна докладати фізичних зусиль. Хімічний посуд не можна різко ставити на стіл, особливо якщо стіл металевий або покритий керамічною плиткою. Категорично заборонена робота з посудом, що має тріщини і відбиті краї.

- Нагрівати можна хімічний посуд із термостійкого скла з відповідним маркуванням. Розчин у скляному посуді варто нагрівати на азбестовій сітці. Нагрівати на відкритому вогні допустимо тільки спеціальний посуд (наприклад, колби К'ельдаля). Категорично заборонено нагрівати розчини в герметично закритому посуді або посуді з щільно закритими пробками.

- Приготування деяких розчинів пов'язане з розчиненням речовин, що супроводжується різким підвищенням температури. Для цього використовують термостійкий посуд, найчастіше виготовлений із порцеляни. Озолення проб проводять у кварцових або порцелянових тиглях.

- Після закінчення роботи посуд необхідно ретельно вимити й обполоснути дистильованою водою. У разі користування йоржами слід дотримуватися обережності, тому що ними легко пробити дно або стінки посудини. Щоб запобігти цьому, на металевий кінець йоржа надягають шматочок гумової трубки.

- На робочих місцях знаходяться реактиви, що не являють собою небезпеку (розведені розчини кислот, солей, основ). Реактиви без напису підлягають знищенню. Не можна наносити на пусту тару новий напис, не витерши попередній.

- Концентровані кислоти й розчини лугів повинні зберігатися у витяжній шафі, де й виконують роботи з застосуванням цих реактивів. Більшість лабораторних робіт пов'язані з використанням розчинів цих речовин. Такі розчини подразнюють слизові оболонки верхніх дихальних шляхів, уражають легені. У разі попадання на шкіру розчини кислот і лугів викликають опіки, у шлунок – отруєння.

- Робота з органічними розчинниками й іншими вогнебезпечними речовинами вимагає особливої обережності, тому що їх випари здатні поширюватися на значні відстані та займатися. За будь-якої можливості виникнення вибуху необхідно захистити очі. Тому всі операції проводять у витяжній шафі з вентиляцією.

- Роботу з кислотами й лугами слід проводити тільки в спеціальному захисному одязі з використанням за необхідності захисних окулярів, респіраторів. Для відбору розчинів кислот і лугу піпеткою потрібно застосовувати гумову грушу або спеціальні насадки. Під час переливання розчинів кислот і лугу необхідно користуватися лійками.

- Під час розведення кислот їх додають повільно невеликими порціями до води (але не навпаки), виділення великої кількості теплової енергії може призвести до викиду розчину та опіків.

- Пролиті на поверхню розчини кислот або лугів необхідно присипати піском, після видалення піску це місце необхідно нейтралізувати розчином оцтової кислоти або соди, потім промити водою.

Темплан 2010, поз. 47

Навчальне видання

Олександр Євгенійович Пахомов
Олег Олексійович Дідур
Юрій Люцинович Кульбачко
Ірина Михайлівна Лоза

**Екохімічні аспекти
існування безхребетних тварин у ґрунті:
методи вивчення**

Навчальний посібник

Редактор А. Я. Пащенко
Техредактор Л. П. Замятіна
Коректор А. Б. Трунова
Комп'ютерна верстка і дизайн О. О. Дідур

Підписано до друку 21.10.10. Формат 60×84/16. Папір друкарський.
Друк плоский. Ум. друк. арк. 10,2. Ум. фарбовідб. 10,2. Обл.-вид. арк. 12,4.
Тираж 300 пр. Зам. № 736.

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.
Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050



Пахомов Олександр Євгенійович
доктор біологічних наук,
професор кафедри зоології та екології,
декан факультету біології, екології та медицини
Дніпропетровського національного університету
ім. Олеся Гончара



Дідур Олег Олексійович
кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник НДІ біології
Дніпропетровського національного університету
ім. Олеся Гончара



Кульбачко Юрій Люцинович
кандидат біологічних наук, доцент кафедри
зоології та екології факультету біології, екології
та медицини Дніпропетровського національного
університету ім. Олеся Гончара



Лоза Ірина Михайлівна
кандидат біологічних наук, доцент,
старший науковий співробітник
НДІ біології Дніпропетровського національного
університету ім. Олеся Гончара