

К. СИТНИК, В. БАГНЮК

СТАН ҐРУНТІВ І МАЙБУТНЄ ЛЮДСТВА

Охорона біосфери, у тому числі ґрунтових екосистем, сьогодні одне з найактуальніших завдань науки і світової громадськості. Невпинне зростання населення Землі вимагає постійного освоєння орних площ та інтенсивнішої експлуатації ґрунтів, що нерідко супроводжується їх забрудненням хімічними і біологічними домішками, деградацією, виснаженням і, зрештою, падінням урожайності. З огляду на цю залежність на початку ХІХ ст. Т. Мальтус разом із А. Тюрго сформулювали «закон втрати родючості землі», який радянська ідеологія не визнавала. І ще й сьогодні його не визнають окремі вчені, вважаючи, що родючість землі можна підтримувати як завгодно довго.

Нині перехід сільського господарства на нові інтенсивні технології із застосуванням хімічних засобів захисту рослин і генномодифікованих організмів потребує переосмислення наявних концепцій і переходу на парадигму сталого розвитку людства й охорони біосфери. Реалізація такої парадигми має ґрунтуватися на використанні сучасних еволюційних комп'ютерних технологій моделювання, оптимізації управління різними галузями сільськогосподарства.

Ми часто чуємо: хліб — усьому голова, земля — мати, годувальниця, основа багатства суспільства. Такий пієтет стосовно матінки-землі аж ніяк не перебільшений. Скоріше, серед широких верств населення побутує певне недооцінення її ролі в життєдіяльності цивілізації. Нерідко можна бачити приклади нешанобливого ставлення людей як до природи загалом, так і до ґрунтів зокрема. Ці факти потребують філософського осмислення, адже вони ґрунтуються

на конкретних соціально-психологічних та економічних причинах. Здавна люди звикли до високого потенціалу самоочищення ґрунтів, постійно нарощували обсяги навантаження на ґрунтові екосистеми. Негативні наслідки не забарилися. Приблизно у 80-і роки ХХ ст. людська спільнота усвідомила, що світові ґрунти опинилися на межі деградації й опустелювання, втрачають родючість, природні біологічні властивості й буферну ємність. Так, у щорічному зві-

© СИТНИК Костянтин Меркурійович. Академік НАН України. Почесний директор Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України.

БАГНЮК Валентин Миронович. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник цього ж інституту (Київ). 2008.

ті Федерального уряду Німеччини наголошено: у найближчі 2–3 десятиліття настане настільки масштабна втрата ґрунтів, що за своїми наслідками перевершить навіть проблему глобальної зміни клімату [1].

Визначимо насамперед, що таке ґрунт. Найпоширеніша дефініція ґрунту як природного органіко-мінерального утворення, сформованого історично, що складається з механічних, водорозчинних і дисперсних мінеральних та органічних (детрит, гумус) речовин. Це утворення населене міриадами різноманітних мікроорганізмів, водоростей, мікроскопічних грибів, безхребетних тварин, які перебувають у тісній взаємодії між собою та кореневою системою рослин, атмосферою, гідросферою, формуючи родючість ґрунту. Інакше кажучи, ґрунт – це верхній шар земної поверхні товщиною від декількох дециметрів до кількох метрів, що піддається активному впливу природних і техногенних чинників, перманентно еволюціонує в просторі й часі. Ґрунт – ємний резервуар стоку вуглецю, депо хімічних елементів. Водночас ґрунти – це один із основних складників біосфери, життєвий простір для всього живого світу з людиною на чолі та всією народногосподарською інфраструктурою (промисловість, енергетичні й сільськогосподарські підприємства, залізничні й автомобільні шляхи, газо- та нафто- і аміакопроводи, лінії електропередач, зв'язку тощо). Отже, ґрунт має низку властивостей, притаманних живій і неживій природі

Завдяки унікальному збігу обставин (виникнення Всесвіту, Сонця як генератора енергії відповідного спектрального складу й інтенсивності, наявність у Сонячній системі Місяця й інших сусідніх планет із оптимальними параметрами орбіт, відстаней і сил гравітації між ними) на Землі з'явилася газова атмосфера і вода, сформувався відповідний клімат, що, зрештою, й зумовило феномен життя. Його суть зво-

диться передусім до продукування в результаті хемосинтезу і фотосинтезу первинної органічної речовини, її деструкції і колообігу біогенних елементів та перетворення енергії за активної участі гетеротрофних організмів у біосфері. Забезпечуючи розвиток рослин, ґрунти відіграють першорядну роль у житті людини.

У своїй знаменитій книзі «Життя рослин» К. Тимірязєв зазначав: «Їжа слугує джерелом сили в нашому організмі тому, що вона є нічим іншим, як консервованою сонячною енергією». З цього погляду людина має право величати себе сином Сонця, про що так образно писав М. Руденко [2]. Сумарна площа розораних земель на нашій планеті становить 1,5 млрд га, тоді як ліси займають 4,06 млрд га, а трав'янисті угруповання – 2,6 млрд га. Отже, сільське господарство вже освоїло понад 30% поверхні суходолу, зокрема в зарубіжній Європі – 30,8% від усієї території, в Азії – 20,2%, у Північній і Південній Америці – 14,4%, в Африці – 14,4%, в Австралії і Океанії – 4,1%, у колишньому СРСР – 16,1% [3]. Звідси випливає висновок: людство розвивається завдяки нарощуванню обсягів акумуляції сонячної енергії у вигляді сільськогосподарської продукції, яку в достатній кількості і потрібній якості можна отримати на відкритих ґрунтах. Незважаючи на краху врегульованість умов вирощування овочів і плодово-ягідних культур у теплицях і парниках (закриті ґрунти і субстрати), порівняно з відкритими ґрунтами, цей спосіб отримання врожаїв має другорядне значення.

Що вища врожайність, то більший потенціал енергії людство може використати для свого прогресу. Отже, в основі прогресу цивілізацій було і буде хліборобство. Цю істину висловив ще в позаминулому столітті творець фізіократичної теорії Франсуа Кене, який правильно вважав, що людське суспільство розвивається за тими ж

законами, що й увесь органічний світ. Він зрозумів, що нагромадження матеріальних благ і науково-технічна революція відбуваються на основі приросту живої речовини культур, висіяних або посаджених у ґрунті (тоді ще явище фотосинтезу не було відомим). Тепер ми знаємо, що в результаті процесів фотосинтезу рослинність щороку продукує на земній кулі близько 450 млрд тонн органічної речовини.

Завдяки цій речовині стає можливою життєдіяльність людини і всього блоку гетеротрофних організмів. Одна насінина, висіяна в підготовлений ґрунт, продукує 20–30, а може й удвічі більше зерен. Потрібно відзначити, що, крім продукції, отримуваної хліборобами і дарованої природою, людство для свого науково-технічного прогресу використовує дедалі більше відновлювальних (енергія сонця і вітру, деревини й інших видів фітомаси, геотермальна, морських хвиль і течій, припливів і відпливів) та невідновлюваних джерел енергії біогенного походження, законсервованих у надрах у минулі геологічні епохи (кам'яне вугілля, нафта, сланці, торф), а також енергію абіогенного походження (природний газ, уран тощо).

Проте основою існування й розвитку цивілізації є хліборобство, яке вимагає якісних ґрунтів. «Якими мають бути ґрунти, щоб забезпечувати високі врожаї, як зберегти їхню родючість для прийдешніх поколінь?» — ось питання, на які людській спільноті потрібно постійно давати відповіді. І це не дивно, адже ґрунти виконують надзвичайно важливу біосферну, соціально-економічну, екологічну та етнокультурну роль. Якісне природне середовище існування людини чималою мірою зумовлене притаманною ґрунтам здатністю до самоочищення від різноманітних сторонніх механічних, хімічних і біологічних домішок. Разом із рослинністю, гірськими і водними екосистемами ґрунти позитивно

впливають на мікроклімат та гідротермічний режим ландшафтів.

Повсякденна практика засвідчує, що чимраз більші площі ґрунтів використовують для захоронення і складування різноманітних промислових, комунальних і сільськогосподарських відходів, серед яких нерідко присутні надзвичайно небезпечні для всього живого речовини-ксенобіотики: ракетне паливо, пестициди, детергенти, важкі метали, радіонукліди тощо. Унаслідок забруднення і нераціональної експлуатації, за різними оцінками, процес опустелювання захопив від 30 до 50% поверхні суші Землі, від чого потерпає кожний третій мешканець планети [4]. Фонд глобального навколишнього середовища та ЮНЕП у 2000 році розпочав Програму оцінювання деградації засушливих земель. Останнім часом виконання програми контролює ФАО. Виявлено, що 580 млн га земель піддано деградації внаслідок вирубування лісів із метою заготівлі деревини, розчищення площ під сільськогосподарські угіддя й міське будівництво. Лише впродовж 1975–1990 років для потреб сільського господарства вирубано 220 млн га тропічних лісів, майже 700 млн га пасовищ порушено випасанням худоби, що найбільшою мірою характерно для Америки й Азії. Значною причиною деградації орних площ є науково необґрунтоване рільництво. Так, унаслідок водної ерозії втрачаємо 25000 млн тонн/рік родючого шару ґрунту. У світі процесами засолення й заболочування щороку охоплено близько 40 млн га земель. До наведених цифр необхідно додати ще 19,5 млн га нерідко родючих сільськогосподарських земель, які використовують для промислових потреб, у міському господарстві, а також для спорудження доріг і добування корисних копалин.

Треба зазначити, що, оцінюючи сучасний стан сільськогосподарських угідь, учені до-

ходять неоднозначних висновків. Деякі з них вважають, що ступінь деградації земель перебільшений. Проте статистика свідчить, що приблизно 15% поверхні суходолу Землі (а це майже 2 млрд га) уже деградувало внаслідок нераціональної діяльності людини. Причини деградації ґрунтів такі: водна ерозія — 56%, вітрова — 28%, хімічна — 12% і фізична — 4%. Великої шкоди ґрунтам завдає також перевипасання (35%), вирубування лісів (30%), екстенсивна сільськогосподарська діяльність (27%), надмірна експлуатація рослинного покриву (7%) і промислова діяльність (1%) [5, 6, 7].

Гострою проблемою для землеробства на зрошуваних землях є їх засолення. Деякі солі (Na_2CO_3 , MgCO_3 , NaCl , Na_2SO_4 тощо) значно знижують родючість ґрунтів. Це відбувається за певних природних умов, коли вони засолюються внаслідок підйому насичених солями ґрунтових вод шляхом випаровування, особливо в посушливих географічних зонах. Проте найбільшу небезпеку для землеробства становить вторинне засолення зрошуваних земель. Високий рівень ґрунтових вод, установлений при цьому, за відсутності нормального природного дренажу зумовлює явища підтоплення, вторинного заболочення і засолення ґрунтів. На жаль, застосування глибокого горизонтального й вертикального насосного дренажу, промивання ґрунту, гідроізоляція ложа магістральних і зрошувальних каналів — дуже витратні і не завжди ефективні засоби боротьби з цими явищами [3, 8, 9].

Хоча деякі автори [10, 11] й підкреслюють, що процеси деградації ґрунту зворотні, вони, проте, змушені визнати: нераціональний вплив людини на ґрунти часто призводить до негативних непередбачуваних наслідків. С. Зонн і А. Травлеєв пишуть: «Не тільки рослини і тварини можуть перетворювати ґрунтоутворювальну породу в ґрунт, але й самі породи при взаємодії з водою беруть участь у ґрунтоутворенні, що

відповідно посилює ґрунтоутворювальну роль мікроорганізмів, які, імовірно, стають агентами прямої взаємодії з рослинами і передавачами їм необхідних живильних речовин. ...Ґрунт був і залишається біокосним тілом, і якби ґрунтоутворювальні породи були тільки інертним субстратом, то ми не мали б їх такими, якими вони є зараз» [11].

У справі запобігання згаданим негативним явищам деградації ґрунтів вирішальна роль належить агрономічній науці, що покликана розробляти і втілювати ресурсоощадні технології виробництва. І такі технології існують. Так, наукові школи А. Бараєва [12], Т. Мальцева, Ф. Моргуна, Ф. Шиккули [13] та ін. запропонували систему землеробства, суть якої полягає у втіленні комплексу заходів, а саме: протиерозійна організація території господарства, ґрунтозахисна агротехніка, посухостійкі сорти та спеціальна сільськогосподарська техніка. Найважливішою ланкою цієї системи є плоскорізна оранка ґрунту із збереженням стерні, що особливо ефективно для степових районів, де вона, порівняно з традиційною оранкою, забезпечує надійний захист ґрунтів від вітрової ерозії, сприяє накопиченню і збереженню вологи та підвищенню родючості ґрунтів. Основним типом сівозміни для степових і лісостепових районів рекомендовано зерно-паровий із короткою ротацією — 4–6 років. Головним полем у такій сівозміні слугує чистий пар, який при правильному застосуванні агротехніки дозволяє нагромаджувати більше вологи, очищувати поля від бур'янів, запобігати виснаженню ґрунту й отримувати до 40 і більше центнерів зерна з гектара. Адже, як відомо, систематична оранка знищує захисний мульчувальний шар із рослинних решток. Крім того, разом із вирощеною сільськогосподарською продукцією з ґрунту вилучають органічні речовини і мінеральні елементи, прискорюючи його деградацію й дегуміфікацію. З огляду на критичний стан

ґрунтів у багатьох країнах світу нині набули поширення технології «нульового» і мінімальної обробки сільськогосподарських угідь (no-till-системи). Це, однак, не означає, що такі системи універсальні й можуть замінити традиційні технології. Так, у праці В. Сайка і А. Малієнка детально розглянуто як позитивні, так і негативні сторони обох груп цих технологій [14]. Отже, вибір способів агротехніки залежить від конкретних кліматичних умов, типу сівозміни, а також від кваліфікації агрономів.

Високі темпи деградації ґрунтових екосистем викликали велику стурбованість міжнародної спільноти, у зв'язку з чим було розроблено Конвенцію ООН для боротьби з опустелюванням (UNCCD), яку ратифікували майже 200 країн світу. Одним із пріоритетних завдань Конвенції є надання державами-учасниками необхідної інформації, розроблення й реалізація регіональних та субрегіональних програм запобігання опустелюванню суходолу. У Конвенції визначено превентивні заходи окремо для Азії, Північного Середземномор'я, Центральної і Східної Європи, країн Кавказу і Середньої Азії. Незважаючи на окремі випадки неадекватного усвідомлення деякими країнами гостроти проблеми й труднощі з виділенням коштів на національному рівні, певні позитивні приклади в цьому напрямі все-таки існують. Насамперед це стосується Узбекистану і Туркменистану, де зосереджено відповідно 80 і 90% посушливих земель. В обох згаданих країнах створено відповідні національні інфраструктури, розпочато моніторинг земель, а в басейнах Аралу і Каспію вже реалізовано декілька транскордонних проектів екологічної реабілітації довкілля.

Трактуючи феномен «отруєння ґрунтів», Д. Санвальд і П. Торбрієтц вважають, що в людей домінують старі уявлення про ґрунти не як частину природи, а лише як продуктивний фактор [5]. За Й. Левандов-

ським та іншими дослідниками, забруднювальні речовини, що надходять у ґрунти, лише частково піддаються руйнації і знешкодженню [1]. З часом буферна ємність ґрунтів вичерпується, гальмуються процеси самоочищення, починає вимирати корисна мікрофлора і мікрофауна, погіршуються біологічні властивості і знижується родючість. У такому стані ґрунт сам стає джерелом забруднення ґрунтових вод і врожаю. На практиці це означає, що на відновлення родючості ґрунтів суспільство змушене витратити чимраз більше зусиль і коштів. Тож може настати час, коли ці зусилля виявляться марними.

Проблема деградації ґрунтів хвилювала вітчизняних і зарубіжних фахівців задовго до 80-х років минулого століття. Уперше наші предки почали перейматися проблемою опустелювання земель декілька тисяч років тому. У другій половині XIX ст. у своїй видатній праці «Наші степи колись і тепер» В. Докучаєв, стурбований станом земель Південної Росії й України, заклав сучасні наукові засади генези й еволюції ґрунтових екосистем та розробив рекомендації щодо збереження чорноземів, які не втратили актуальності й дотепер, а на початку XX ст. геніальний М. Вавилов написав серію блискучих нарисів з історії світового землеробства, де наголошував як на досягненнях, так і на втратах цивілізації на цьому шляху. Головна ідея його статей — якомога ширше використання в селекції культурних сортів видів рослин, насамперед із світових центрів їхнього походження.

Дослідження ґрунтів і прогнозування їхнього стану на майбутнє давно перебуває в центрі уваги американських, європейських, японських та інших фахівців. Так, наприклад, А. Йенсен понад три десятиліття тому застерігав громадськість про можливі негативні наслідки від упрова-

дження в традиційне сільське господарство сучасних інтенсивних технологій землеробства [15]. Він вважав, що впровадження їх на старих засадах може призвести з часом до прискореного виснаження, засолення, підтоплення та водно-вітрової ерозії ґрунтів. Щоб зарадити справі, на думку автора, міжнародне співтовариство держав має проводити глобальну довготривалу й раціональну сільськогосподарську політику, яка б дозволяла отримувати дедалі більше якісного продовольства за екологічно збалансованого природокористування. Особливі сподівання А. Йенсен покладав на міжнародні науково-дослідні проекти, як-от «Фермерство в суспільстві до 2000 року», низку спеціальних програм ФАО та інших організацій, у результаті впровадження яких будуть імplementовані ресурсощадні правила землеробства і тваринництва. Як бачимо, ще тоді було висунуто ідею сталого, або стійкого, розвитку, поняття якого в сучасному вигляді сформульовано набагато пізніше (1992 р., Ріо-де-Жанейро). Наведемо основні тези згаданої праці: 1) сільське господарство, яке базується на максимально можливій утилізації сонячної енергії та оптимальному використанні запасів мінеральних елементів і органічних речовин ґрунту, з часом призводить до підриву природних ресурсів і порушення екологічного балансу; 2) з метою запобігання екологічній кризі і мінімізації ентропії проблему забезпечення потреб людства в продовольстві і сировині необхідно розв'язувати шляхом ощадливого використання земель, капіталу, інтелектуальних і трудових ресурсів; 3) оскільки землеробство інтегроване в економіку та інші сфери людської діяльності й тісно пов'язане з ґрунтовими, водними екосистемами і атмосферою, воно вимагає міжнародного моніторингу та комплексного управління на національному, регіональному і глобальному рівнях; 4) найпріоритетнішим завдан-

ням фахівців у галузі екології, енвайронменталістики й ґрунтознавства є вжиття заходів, спрямованих на запобігання ґрунтовій катастрофі. На наш погляд, сучасна наука володіє необхідними знаннями, адекватною методологією і конкретними засобами, щоб виконати це завдання в інтересах людства й без руйнації біосфери.

Для оцінення біологічної активності ґрунту часто використовують рівень дихання його біоти (мікрокосму). Установлено, що багатші на органічну речовину ґрунти, то вища їхня респіраторна здатність. Багато дослідників довело, що дихання мікрофлори ґрунту можуть гальмувати солі важких металів та інші токсиканти. Наслідком пригнічення дихання є порушення процесів деструкції органічних речовин і колообігу біогенних елементів [1, 16]. Проте, що цей інтегральний спосіб виявлення шкідливих інгредієнтів у середовищі досить інформативний, свідчать і наші дослідження фотосинтетичної активності й дихання тест-культур водоростей у присутності деяких солей металів і органічних токсикантів [17, 18].

Генеza й еволюція ґрунтів, як і поширення флори на них загалом, значною мірою залежать від клімату і пов'язаного з ним формування географічних зон [19–21]. Спробуймо хоча б побіжно схарактеризувати ґрунти, починаючи з крайньої півночі Євразії, Північної Америки й узбережжя Північного Льодовитого океану (найпівнічніша точка розміщена в Сибіру за 72° п. ш. поблизу гирла Хатанги і в нижній течії р. Лени). Згадані території пустельні, тут панує вічна мерзлота, кількість видів рослин не перевищує 50–100. Південніше розташована арктична південна зона. Відсутність дерев – найперша особливість тундрової екосистеми, що простягається на безмежних просторах Євразії (разом із лісотундрою становить 3,25 млн км²). Величезні території займають тундра і лісотундра в Північній

Америці. Літо в тундрі дуже коротке і холодне. Середньомісячна температура в цей період дуже рідко перевищує 10° С. Особливістю тундрової зони є мала кількість атмосферних опадів (до 300 мм/рік). Досить тонкий шар снігу (10–50 см) неспроможний захистити місцеву рослинність від вимерзання. Дефіцит снігу, особливо в місцях його видування вітрами, є чинником формування багаторічних мерзлих ґрунтів із притаманним їм явищем соліфлюкції (рухливості). Однак існування влітку польярного дня забезпечує певний рівень первинної продукції органіки внаслідок вегетації приблизно 200–300 видів флори. Далі на південь тундра поступово переходить у лісотундру. Спочатку спостерігаємо поодинокі карликові понівечені деревця (карликові берези, верби тощо), які далі переходять у хвойні ліси. Зазвичай ґрунти тут опідзолені, піщані, бідні на гумус і мінеральні біогенні елементи.

Свої особливості має генеза ґрунтів на Поліссі. Кліматичні умови їхнього формування теж малосприятливі. Надмірна вологість, заболоченість, наявність болотяної рослинності й прибережних макрофітів зумовлюють процеси активного торфотворення в межах водойм і боліт, тоді як ґрунти суходолу переважно бідні на органіку, кислі й малопродуктивні. У спеціальній літературі немає однозначної оцінки ролі лісу у формуванні ґрунтів Полісся. Одні з авторів наголошують на визначальній ролі лісів як чинника регуляції водного режиму й збагачення ґрунтів гумусом [11, 22], інші [23, 24] визначають, що ліси, які ростуть на чорноземах, сприяють їх деградації, що проявляється в порушенні структури, зменшенні потужності горизонту А, зниженні вмісту гумусу й опідзоленості. З часом ці ґрунти трансформуються у вилуговані чорноземи і, якщо ліс існує на них достатньо довго, переходять у лісові сіроземи.

Згідно з дослідженнями В. Докучаєва, для формування чорноземів і каштанових ґрунтів південних регіонів Росії й України потрібен напіваридний клімат, поширення в рослинному покриві видів злаків із густою кореневою системою та наявність потужного нижнього шару породи з високим вмістом вапняку. Згадані чинники зумовили формування в чорноземах степу двох основних горизонтів: потужного інтенсивного чорного верхнього шару (горизонт А), який містить від 4 до 10% гумусу, і нижнього шару (горизонт В) з притаманним йому падінням концентрації гумусу залежно від глибини. Чорноземи мають стабільну грудочкову структуру, високий вміст поживних речовин, багате і різноманітне мікронаселення, що значною мірою забезпечує високу біологічну активність і родючість цих ґрунтів. В областях, розташованих південніше, починають домінувати каштанові ґрунти, верхній горизонт яких також містить чимало гумусу (3–6%), а карбонатний горизонт починається на глибині 50–70 см. На самому узбережжі українських морів вони змінюються світло-каштановими ґрунтами, характерними для напівпустель, та переходять у пустельні сіроземи, що не містять гумусу взагалі. Така деталізація особливо важлива на узбережжі, де високо залягають ґрунтові води, створюючи умови для формування солончаків, а в місцях штучного зрошення — осолонцьованих ґрунтів.

Деякі автори вважають, що чорноземи, як і переважна більшість ґрунтів бореальних областей, сформувалися впродовж голоцену (останні 10–12 тис. років) [25]. Проте чимало питань голоценової еволюції чорноземів ще не розв'язано. Так, достеменно невідомо, чи ці ґрунти мають моногенетичне чи полігенетичне походження, чи розвиваються вони завдяки проникненню гумусу в глибину породи, чи ростуть угору завдяки еоловому привнесенню? Чи,

можливо, вони еволюціонували від каштаноподібного ґрунту тундростепу або добре обводнених лучно-болотяних ландшафтів? У зв'язку з цим, вивчаючи еволюцію ґрунтів, застосовують комплекс геохронологічних (радіовуглецевий, спорово-пилковий, ґрунтово-археологічний) і власне ґрунтових (мікро- і мезоморфологічний, катенний та ін.) методи. За їхньою допомогою намагаються з'ясувати особливості еволюції ґрунтів лісової та степової зон, прилеглих до лісостепу. Виявлено, що вони мають як спільні риси, так і відмінності. Так, згаданий колектив дослідників на прикладі Центральнорозноземного заповідника (Курська обл. Росії) показав, що, на відміну від степових, лісові розрізи характеризуються більшою потужністю гумусових горизонтів, вилуженою від карбонатів товщею і зоною сегрегації заліза, глибшою структурованістю всього профілю, специфічним «набором» карбонатних новоутворень тощо. Щодо низки інших елементарних процесів, які формують профіль чорнозему в його лісових і степових варіантах, то вони принципово не відрізняються. Відносна стабільність степових чорноземів під лісовою рослинністю визначена схожістю умов первинного (степового) і вторинного (лісового) ґрунтоутворення. Це зумовлено такими причинами: 1) схожістю лісових і лучних ґрунтів за біологічним колообігом елементів і валовою продуктивністю; 2) незначними відмінностями хімізму біогеохімічних циклів (азотно-кальцієвий тип у лісових ґрунтах і азотно-кремнієво-кальцієвий у лучному степу); 3) стійкістю до зовнішніх впливів; 4) екологічною пластичністю популяцій дуба, яка дозволяє їм адаптуватися й витіснити трав'янисті угруповання при незначному власному впливі на ґрунт; 5) порівняно коротким часом дії дубових гаїв на досліджувані ґрунти.

Серед факторів еволюції чорноземів згадані автори виділяють біокліматичний, ос-

кільки інші (рельєф, материнські породи) впродовж голоцену були відносно постійними або проявлялися пізніше внаслідок діяльності людини. Вплив клімату проявлявся через зміни властивостей ґрунту, рослинного і тваринного світу та рівня ґрунтових вод. У працях В. Докучаєва «Русский чернозем» (1883) і «Наши степи прежде и теперь» (1892) обґрунтовано теорію рослинно-наземного походження чорноземів із урахуванням домінанти клімату й рослинності. Учений виходив із того, що впродовж усього періоду утворення чорнозему клімат Європейської частини Російської імперії був таким самим, як і тепер. Проте деякі палеоботаніки [26, 27] вважають, що перший етап формування рослинності в голоцені на цій території завершився «холодним лісостепом», де ділянки лісу чергувалися з ділянками трав'янистої рослинності (альпійської, субальпійської, гірсько-степової, лучно-солончакової, лучної й степової). Клімат продовжував залишатися досить суворим аж до середини голоцену (8–7 тис. років тому) і був сприятливим для формування степу на Руській рівнині з її чорноземними ґрунтами. К. Марков та ін. [28] і М. Хотинський [29] доводять, що кінець атлантично-суббореального періоду голоцену приблизно 5 тис. років тому характеризувався теплим і вологим кліматом з оптимальною температурою. За таких умов продукувалася достатня кількість фіто- і зообіомаси, необхідної для утворення ґрунтів чорноземного типу. Проте ця тенденція порушилася в суббореальний період, коли настало похолодання. Тоді збільшився ступінь заліснення лісостепу, ліси поширилися на південь та зросла частка широколистяних лісів. Мабуть, ці зміни були притаманні й для субатлантичного періоду, але на них вже наклала відбиток антропогенна діяльність.

М. П'явченко провів палеогеографічну реконструкцію рослинного покриву Руської рівнини, яка (реконструкція) показала,

що чорноземні ґрунти почали формуватися в бореалі [30]. Проте, незважаючи на певну схожість торф'яникових і ґрунтових споровопилкових діаграм, між ними існують й суттєві відмінності. Так, за допомогою радіовуглецевого методу встановлено, що вік легкоокислюваної частки гумінових кислот у горизонті Al_1 чорнозему коротший від віку гумінових кислот нижнього горизонту Al_2 і АВ, що зумовлено активною біохімічною діяльністю мікроорганізмів у цьому горизонті [25]. Гумінові кислоти нижнього горизонту (Al_2 і АВ) біологічно інертні, їхній вік коливається від 3170 до 3670 років. Вологий і теплий клімат сприяв утворенню дернових ґрунтів на суглинках. Очевидно, чорноземи лісостепу й північної зони степу пройшли лучну стадію генези з утворенням потужного гумусового горизонту, у складі якого переважали бурі гумінові кислоти. Із зміною клімату на сухіший і холодніший органічна речовина еволюціонувала за чорноземним типом. У верхній частині профілю швидкість оновлення гумусу була вищою завдяки більшим обсягам надходження рослинних решток і вищій мікробіологічній активності. Гумінові кислоти, утворюючись у верхній частині профілю, насичували його, переміщувалися в нижню його частину, де й депонувалися надовго. Отже, процес утворення чорноземів має моногенетичні і полігенетичні риси.

Для областей земної кулі, де дощі випадають у зимовий період, властиві жовтоземи й червоноземи. Це бідні на органіку силікатні ґрунти, забарвлення яких зумовлене високим вмістом гідратів окису заліза (до 10%). За шаром підстилки тут здебільшого залягає чорний гумусовий горизонт, а під ним — червоний глинистий. Червоноземи утворилися в третинному періоді й міжльодовиків'ї. Як на характер ґрунтів, так і на поширеність рослинності в північній півкулі Землі сильний вплив справило останнє зледеніння. Оцінити його масшта-

би можна, порівнявши зледеніння з територіями, на які руйнівна дія льодовика не поширилася. Наприклад, флора Середземномор'я майже в 5 разів багатша від флори Центральної Європи і включає незрівнянно більше ендемічних видів. Проте що далі на південь, то бідніший рослинний покрив, а степи переходять у широку смугу пустель, яка розкинулася через всю Центральну Азію із заходу на схід. Для цієї голої й безводної території характерні піщані, лесовидні і суглинисті ґрунти з великою домішкою щебеню та каміння. Деяку рослинність (окремі види злаків, спотворені карликові дерева, кущі й напівкущі) можна зустріти лише вздовж пересохлих річищ і рівчаків, на схилах пагорбів і по краях солончаків та барханів. Загалом же зона пустель і напівпустель краще представлена в Північній півкулі, де вона простягається між 15 і 50 градусами північної широти у вигляді неоднорідної за шириною смуги й займає чверть усєї поверхні суходолу. До найбільших пустель і напівпустель цієї півкулі належать: Північноафрикансько-аравійська пустеля (з них лише одна Сахара займає таку територію, як Європа), пустелі Ірансько-пакистанського регіону та пустелі й напівпустелі Південно-західної, Північної і Центральної Америки (пустеля Сонора). У Південній півкулі планети розташована простора Чилійсько-перуанська прибережна пустеля, прибережна пустеля Намібії, пустеля Калахарі й напівпустеля Карру на південному заході Америки, а також пустелі і напівпустелі Центральної та Південної Австралії. До цього переліку слід додати холодні посушливі (взимку) пустелі середніх широт Азії — середньоазійські пустелі й напівпустелі Ірано-туранської області (Північний Іран, Арало-каспійська низовина з пустелями Кизил-Кум і Кара-Кум), Казахстансько-джунгарська область з Голодним степом (Казахстан від Нижньої Волги й далі на схід через територію

Приуралля до озера Балхаш), Центрально-азійська пустельна область Монголії й Північного Китаю, а також високогірні пустелі Тибету. Такою ж холодною в зимовий період є і напівпустеля, розташована в районі нагір'я Великого басейну між скалистими горами і хребтом Сьєрра-Невада [19].

Відзначаючи спільні риси опустелювання земель у різних районах планети, необхідно згадати про деякі регіональні особливості екологічної кризи ґрунтових екосистем. Так, для Західної Європи характерне масштабне забруднення ґрунтів енергетичними, промисловими і комунальними викидами. Ідеться, зокрема, про захоронення твердих побутових відходів та осадів стічних вод у підземних пустотах. У країнах Середземномор'я найбільшої шкоди земельним угіддям завдає водно-вітрова ерозія, засолення ґрунтів та пожежі, яким сприяє аридний або напіввологий тропічний клімат. Деякі проблеми, притаманні ґрунтовим екосистемам Центральної та Східної Європи, аналогічні таким для Західної Європи, проте переважна їхня кількість успадкована від колишнього СРСР і країн соціалістичного табору, де тривалий час панувала волюнтаристська економічна політика й було знехтувано екологічними пріоритетами. Нераціональне управління сільським господарством, вирубування лісів, широкомасштабне гідротехнічне будівництво, нераціональне осушення боліт, іригація і хімізація не могли не призвести до прискорення темпів ерозії, втрати гумусу, забруднення ґрунту пестицидами і мінеральними добривами.

Щодо Східної Європи, Кавказу і Центральної Азії, то за останні півстоліття внаслідок інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, парникового ефекту і кліматичних змін відбулися процеси забруднення, виснаження й опустелювання ґрунтів на досить значних територіях. Так, у Казахстані небезпека опустелюван-

ня ґрунтів загрожує переважній більшості території [31]. Тут традиційно залишають виснажені ґрунти до «ліпших часів», але внаслідок суворого клімату природний процес їх відновлення відбувається надто повільно. За матеріалами доповіді «Деградація ґрунту» (Європейська комісія), схожу ситуацію з ґрунтами спостерігаємо в Азербайджані, де, за станом на 2000 р., нараховано 8,6 млн га еродованих земель, зокрема майже 30 тис. га їх вийшло з ужитку через надмірне забруднення нафтопродуктами. Започатковане ще в радянські часи знищення земель у Киргизстані й Таджикистані триває й досі. У Туркменистані, наприклад, процес деградації ґрунтів зумовлений переважно скотарством. За даними Конвенції ООН, у цій країні з 39,5 млн га пасовищ уже порушено 70%, ще 40% потерпає через нестачу води, а 5% перетворилися на піщані бархани.

Як уже згадувано, із середини ХХ ст. почалося безпрецедентне руйнівне перетворення природи в Україні — основний житниці СРСР. Волюнтаристське керівництво країною, нехтування справжньою наукою відкрили шлях до широкомасштабного гідротехнічного будівництва, зарегулювання й перекидання стоку річок, штучного зрошення південних полів та суцільного їх розорювання. Наслідки цього господарювання добре відомі: водно-вітровою ерозією вражено майже 60% земель, вміст гумусу в колись багатих чорноземах зменшився вдвічі. Було засолено й підтоплено третину ґрунтів [18]. Шкідливій дії водно-вітрової ерозії нині піддано близько 17% від загальної території Європи, щорічні економічні збитки в сільськогосподарських районах Європи оцінюють в обсязі 50 євро/га (рис. 1, 2). Але й ця цифра повністю не охоплює втрати народного господарства. Слід іще врахувати низку непрямих негативних наслідків водно-вітрової ерозії для кому-

нальної інфраструктури, руйнування споруд, мереж газо-, нафто- й аміакопроводів, систем зв'язку, доріг, каналів тощо, а це ще 32 євро/га. На рис. 2 відсутня колонка, яка б показувала кількість утраченого ґрунту в Україні. Приблизно така втрата дорівнює 20 млн тонн/га на рік. На жаль, цей процес не тільки не вдається призупинити, але й загальмувати. Невтішна більшість прогнозів на майбутнє. Ряд авторів вважає, що, крім техногенних чинників у майбутньому, процеси ерозії ґрунтів посиляться внаслідок глобальних змін клімату [20, 21]. Статистика останніх років однозначно засвідчує почастищення руйнівних злив і повеней на різних континентах світу. Викликає також тривогу той факт, що імплементація низки заходів, спрямованих на реабілітацію ґрунтових екосистем (екологізація агротехнологій, широке застосування органічних добрив і сидератів, генно-інженерних і М-технологій, терасування, контурний обробіток ґрунту, застосування безпечних пестицидів, розширення полезахисних лісонасаджень) поки ще не дала бажаних результатів. Проте це зовсім не означає, що перелічені заходи неперспективні. Слід науково обґрунтувати доцільність цих заходів, оцінити собівартість і можливу віддачу при комплексному втіленні на практиці.

Розглянемо коротко питання, яким має бути культурний ґрунт. На думку деяких фахівців, це насамперед структурований, зернистий ґрунт [32]. Його геологічною основою слугують окремі різнокаліберні частинки мінеральних порід, на яких еволюційно утворився власне ґрунт із характерним органіко-мінеральним комплексом. Згадані компоненти з поровим простором між ними сполучені міцними, але пластичними зв'язками, які не рвуться навіть за умови проникнення води. На частинках ґрунту формується негативний заряд певної напруги, що зумовлює рух із ґрунтового розчину позитивно заряджених іонів та



Рис. 1. Землі деяких держав, уражені ерозією (дані національних природоохоронних відомств)

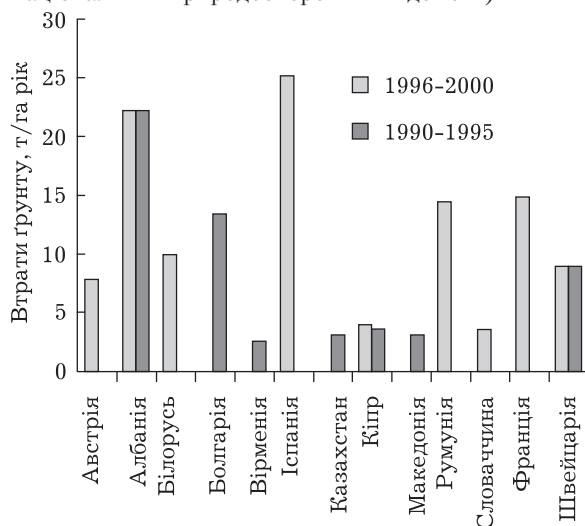


Рис. 2. Втрати ґрунту від ерозії сільськогосподарських угідь у деяких країнах світу (дані національних природоохоронних відомств)

утворення навколо них поверхневого шару, завдяки якому вода прямує в зону насичення доти, доки концентрація не зрівняється. При цьому виникають електричні струми різної сили й напруги, роль яких у ґрунтових процесах малодосліджена. О. Поздняков та інші дослідники вважають, що ці

електрохімічні явища не що інше як спонтанно сформовані стаціонарні електричні поля, які впливають на швидкість міграції речовин, ґрунтоутворення та інші геохімічні процеси [33]. Із збільшенням кількості води цей концентраційний насос розсуває зернини ґрунту дедалі більше. Сила, яка виникає при цьому — розклинний тиск, — сягає десятків атмосфер. Проте ґрунтові агрегати набухають, але не розриваються. Для того щоб утворилися зерна ґрунту оптимальної величини (3–5 мм), необхідна присутність органічних колоїдів, завдяки яким уповільнюється процес надходження води в поровий простір і можна запобігти виникненню високих розклинних тисків, а отже, розриву агрегатів. Функціонування такого механізму зумовлене тим, що одні з органічних речовин гідрофільні, а другі — гідрофобні. У зв'язку з тим, що молекули своєю гідрофільною частиною утримуються на поверхні мінерального носія, а гідрофобною — зорієнтовані всередину порового простору, вода сюди поступає поволі. Отже, що більше гідрофобних речовин, то стійкіші агрегати ґрунту.

У світі й Україні, зокрема, існує гостра проблема підтоплення і засолення зрошуваних ґрунтів. Так, використання для поливу води підвищеної мінералізації супроводжується витісненням із згаданого вище електростатичного шару катіонів кальцію, заліза й алюмінію одновалентними катіонами. З цього й починається розвиток ланцюгових процесів руйнування зернистої структури ґрунтів і зниження їхньої родючості.

Як відомо, існують два кардинальні способи збільшення виробництва сільськогосподарської продукції: екстенсивний (розширення посівних площ) й інтенсивний, що базується на підвищенні родючості землі (меліорація, зокрема застосування добрив і сидератів). Перший спосіб, мабуть, мало-перспективний, адже переважна більшість

неосвоєних ґрунтів розташована в несприятливих для рільництва зонах. Це або сухі, або перезволожені землі, де клімат надто жаркий чи надто холодний. У зв'язку з цим світова сільськогосподарська практика зорієнтована на якомога ширше застосування мінеральних добрив. За даними ФАО, внесення в ґрунти 1 кг добрив ($N + P_2O_5 + K_2O$) приводить до підвищення врожаю пшениці в середньому на 7,3 кг, рису — 8,6, кукурудзи — 8,8, бавовнику — 2,7 кг. Оцінення впливу різних факторів на врожайність сільськогосподарських культур дало такі результати: добрива — 41 %, гербіциди — 15–20 %, багатий ґрунт — 15 %, гібридне насіння — 8 %, зрошення — 5 %, інші фактори — 11–16 %. Проте реалізація згаданих шляхів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва пов'язана із сильною техногенною дією на ґрунти. Серед способів інтенсифікації землеробства найбільший вплив на колообіг речовин мають, очевидно, добрива й засоби захисту рослин. За тривалого використання існує небезпека нагромадження їх у ґрунтах і врожаї. В. Мінеєв вважає, що боротьбу за екологічну безпеку треба розглядати як одне з найвідповідальніших завдань, які стоять перед фахівцями різних галузей народного господарства [34]. На переконання автора, свідоме й дбайливе ставлення до природи необхідно формувати ще з дитинства.

З метою отримання стабільних урожаїв необхідно визначати не тільки баланс азоту, фосфору і калію, але й інших елементів, наприклад, кальцію, магнію, сірки та низки мікроелементів, які суттєво впливають на врожай і його якість. Б. Носко та інші дослідники встановили, що за умови збільшення рухомого фосфору на 1 мг фосфорного ангідриду (в розрахунку на 100 г чорноземного ґрунту) можна досягти стійкого приросту врожаю зернових на 0,1–0,15 т/га, цукрового буряку — на 1,4–1,8 т/га, зеленої маси кукурудзи — на 1,4–2,0 т/га

[35]. Щодо калію, то цей біогенний елемент також надає рослинам стійкості до екстремальних умов (посуха, підвищена або знижена температура), вилягання, зараження фітопатогенними грибами і бактеріями; сприяє поліпшенню якості сільськогосподарської продукції.

Як уже було зазначено, крім постачання рослинам біогенів, гумус виконує низку інших унікальних функцій, зокрема меліоративних (структурування, поліпшення фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту). Він підвищує опірність ґрунту погоднo-кліматичним умовам, знижує можливий негативний вплив на рослини авто- й алохтонних компонентів. Гумус містить у собі майже весь зв'язаний вуглець ґрунту, 80–90% азоту й сірки, близько 50% органофосфатів. Багаті на гумус чорноземи біологічно активні, у них відбуваються інтенсивні мікробіологічні процеси. Такий ґрунт володіє вищим рівнем дихання мікрокосму й має вищу ферментативну здатність, відрізняється кращим повітряно-тепловим режимом, більшою стійкістю до ерозійних процесів, краще захищає рослини від посухи і вимерзання. Крім того, не слід забувати, що гумінові кислоти є добрими комплексонами, що зв'язують різноманітні токсичні речовини, чим запобігають їхньому потраплянню в ґрунтові води і рослини.

Попри успіхи генних технологій, найкардинальнішим шляхом розв'язання продовольчої проблеми залишається вдосконалення традиційних агротехнологій та збільшення виробництва мінеральних добрив, передусім азотних. На підтвердження сказаного наведемо такі факти. У земній атмосфері зосереджено фактично безмежні запаси молекулярного азоту — 4×10^{15} тонн. Крім того, у морях і океанах у вигляді розчинних і дисперсних мінеральних і органічних азотовмісних речовин міститься 2×10^{13} тонн азоту, у фітомасі — $1,1 \times 10^9$

тонн, у тваринній біомасі — $6,1 \times 10^7$ тонн [36].

Надзвичайно важливе сільськогосподарське значення має збагачення ґрунтів азотом шляхом збільшення обсягу фіксації молекулярного азоту вільноживучими і симбіотичними мікроорганізмами Rhizobiaceae. Так, завдяки життєдіяльності вільних азотфіксаторів за 1 рік на поверхню площею 1 га надходить 2,5–10 кг зв'язаного азоту, симбіотичних мікроорганізмів — 50–200 кг/га. Не слід нехтувати і таким джерелом надходження атмосферного азоту в ґрунти, як природний абіогенний процес окислення атмосферного азоту внаслідок грозових електричних розрядів. На цьому хімічному принципі базуються технології промислового виробництва азотних мінеральних добрив. За оцінками спеціалістів, що вивчають азотні цикли в природі, не менше як 40% населення світу зараз живе лише завдяки відкриттю синтезу аміаку з азоту повітря. Внести таку кількість азоту в ґрунти у вигляді органічних добрив практично неможливо. І хоча обсяги промислового зв'язування азоту і виробництва туків у світі нині становлять астрономічні величини, проте особливі сподівання фахівці покладають на біотичну фіксацію азоту з огляду на економічність, гігієнічність й екологічну чистоту цього процесу. З метою забезпечення нагальних потреб світового сільського господарства міжнародна наукова спільнота отримала дуже важливі результати щодо біологічних засад життєдіяльності вільноживучих і симбіотичних азотфіксаторів, генетичних особливостей і молекулярних механізмів реалізації цього фундаментального процесу. Однак мусимо застерегти читача від надмірного оптимізму: розв'язавши проблему забезпечення сільського господарства азотними добривами, людство ініціюватиме виникнення нових проблем. Зокрема, постане питання щодо впливу на біосферу невпинного попо-

внення цим біогеном тієї частини азоту, що перебуває в колообігу. Чи обмежиться цей вплив розвитком явища евтрофікації вод?

Суть життя, як відомо, полягає в нескінченному потоці й перетворенні енергії в живій клітині, організмі, популяції, екосистемі й біосфері, що відбувається відповідно до принципів термодинаміки. Завдяки специфіці біологічного руху матерії в процесі еволюції вироблено механізми прямого перетворення одних форм вільної енергії на інші майже без проміжних втрат. Отже, характеризуючи ґрунти, важливо оцінювати запаси мертвої і живої органіки та акумульованої в ній енергії. У роботі В. Бagnюка, Я. Дідуха, Г. Цивінського відзначено, що з початку землеробської діяльності людства вміст гумусу в ґрунтах зменшився в середньому з 2200 до 1700 гігатонн (Гт) вуглецю [9]. Разом із тим багаті на гумус ґрунти відіграють роль депо не лише вуглецевого стоку, але й інших біогенних речовин (азот, фосфор, калій тощо), які нагромаджуються в них разом із вуглецем. Так, співвідношення С: N: P у «середній» біомасі, за різними даними, становить 100:16:1, тоді як в органічному детриті ґрунтів і водойм (гумус) відношення азоту до фосфору зазвичай значно ширше — 25–30:1 [37, 38].

Гумус утворюється за участі угруповань бактерій, мікроскопічних грибів, найпростіших істот і черв'яків шляхом перероблення ними суміші залишків деревини, кори, стебел, листя, коренів і мертвих тварин. У результаті складних багатостадійних біохімічних реакцій ця суміш поволі трансформується в губчасту (коричневого кольору) речовину, що має низку унікальних властивостей. Гумус поліпшує структуру ґрунту, втримує вологу й містить запаси цінних поживних речовин, необхідних для життєдіяльності ґрунтової мікрофлори і рослин. Як відомо, до складу гумусу входять біохімічно стійкі органічні сполуки: лігнін, ліпі-

ди й воски, полівуглеводи й білкові речовини. Якщо відношення С: N у свіжій рослинній біомасі становить приблизно 40: 1, то в гумусі — 10: 1. Іншими словами, природний процес гуміфікації приводить до утворення й консервації золотого запасу біогенних макро- і мікроелементів, динамічно зв'язаних із полімерними компонентами гумусу хімічними зв'язками різної міцності. Крім вуглецю і азоту, для життєдіяльності рослин необхідні такі хімічні елементи, як: K, Fe, Mn, Mg, Cu, Zn, B, Si, Mo, Cl, V, Co [24, 34].

Залежно від умов швидкість поповнення ґрунтів гумусом є різною. Одні типи ґрунту сприяють накопиченню гумусу, інші — навпаки. Так, наприклад, чорноземи найкраще формуються в місцевостях із тривалою холодною зимою і посушливим літом. Проте кількість утвореного гумусу залежить не тільки від кліматичних і едафічних умов, суттєву роль тут відіграють рослинні залишки. Так, солома злакових і залишки степових рослин дають відносно нестійкий гумус, тоді як гумус, утворений із листя і хвої лісових порід, відзначається жорсткістю і важко піддається біохімічній деструкції. У ґрунтах, бідних на катіони (підзоли, хвойні ліси), відбувається накопичення фульвокислот (кислий гумус), і, навпаки, за наявності достатньої кількості лужних мінералів утворюються гумінові кислоти, які разом із колоїдами глини становлять поглинальний комплекс ґрунту. У ґрунтах тропічних областей утворюється дуже мало гумусу, тому що тут мікроорганізми швидко руйнують органічні речовини.

До найдієвіших заходів поповнення ґрунтів гумусовими сполуками належать такі: правильні сівозміни, внесення органічних добрив і рослинних решток, застосування сидератів тощо. Отже, для агрономів–теоретиків і практиків немає більш актуальних завдань, ніж розроблення і реалізація заходів, спрямованих на поліп-

шення структури гумусу, зростання його біологічної активності і збільшення вмісту в ґрунтах.

Оцінюючи забезпеченість рослин біогенними елементами й такі абіотичні чинники, як волога, температура, освітленість тощо, необхідно згадати про «закон мінімуму» Ю. Лібіха. Цей учений ще в 1840 р. висловив ідею про те, що виживання будь-якого організму зумовлене найслабшою ланкою в ланцюгу його екологічних потреб. Інакше кажучи, урожай культур часто лімітований не тими елементами живлення, які потрібні організму у великій кількості, а спожитими в невеликих дозах (наприклад, мікроелементи цинк, кобальт тощо). Ураховуючи важливість мікроелементів для життєдіяльності рослин, створено галузь агрономічної науки, що досліджує фундаментальні і прикладні питання засвоєння, метаболізму й впливу на величину і якість урожаю різноманітних хімічних елементів [39].

Погляди фахівців-ґрунтознавців і агрономів на проблему збереження родючості ґрунтів розділилися. Одні з них [1, 4, 37, 40] наголошують на негативних сценаріях еволюції ґрунтів (рано або пізно настає виснаження, деградація, опустелювання), інші [10, 15, 41] вважають, що за умови раціонального землекористування якість окультурених ґрунтів та їхню родючість можна підтримувати як завгодно довго. Ґрунтознавці, яких ми назвемо умовно «оптимістами», переконані, що земля як засіб виробництва в процесі раціональної експлуатації «не зношується», а її властивості, навпаки, поліпшуються. На їхню думку, це зумовлено передусім поверненням у ґрунт винесених з урожаєм і фітотомасою біогенних елементів. Як аргумент на підтвердження такого погляду оптимісти наводять приклади з різних регіонів планети, де люди ведуть осілий спосіб життя, обробляють землю з давніх-давен і завдяки успішним зеленим революціям суттєво під-

вищують її продуктивність. Разом із тим історія знає чимало випадків, коли держави і народи, володіючи родючими землями, розвиненим землеробством і скотарством, досягали піку своєї могутності, але з часом занепадали внаслідок виснаження ґрунтів. Яскравим прикладом може слугувати Шумерська цивілізація (6–2 тис. р. до н. е.), що займала Месопотамську низовину на Аравійському півострові разом із територією нинішнього Бахрейну. На початку цієї цивілізації стримувальним чинником розвитку рільництва був дефіцит прісної води, але шумери знайшли великі запаси її під землею і за допомогою системи каналів і зрошення перетворили посушливий степ на небачений оазис — зелені поля, луки, сади і виноградники. Тож недарма ці краї називали земним раєм, «Країною живих». Проте швидко зростання населення, утримання державних інституцій і армії вимагало щоразу більше продовольства, що досягалося шляхом екстенсивного землеробства. Тому з часом ґрунти засолювалися, підтоплювалися і деградували, катастрофічно втрачаючи родючість. Дефіцит продовольства викликав голод, підвищення захворюваності населення й поширення епідемій. З «Країни живих» Межиріччя перетворилося в «Країну мертвих». Колись могутня цивілізація, спадкоємцями якої стали вавилоняни, асирійці і перси, була знищена полчищами Олександра Македонського, який установив новий світовий порядок із його новими політичними, економічними і земельними відносинами.

Свого часу Т. Мальтус і його однодумці сформулювали «закон втрати родючості землі», згідно з яким, незважаючи на внесення органічних і мінеральних добрив та меліорацію, родючість ґрунтів із часом знижується, а заходи щодо відновлення врожайності сільськогосподарських культур на цих землях стають економічно не вигідними. На противагу мальтузіанству радянські

ідеологи, починаючи зі статті В. Леніна «Аграрне питання і критики Маркса», піддали Мальгуса нищівній критиці. У його шельмуванні змушені були брати участь навіть такі поважні вчені, як Р. Вільямс, Д. Прянишников, В. Ковда, Б. Кедров та ін.

Зазвичай критики теорії втраченої родючості земель пояснюють випадки деградації ґрунтів невмінням агрономів проводити ефективні меліоративні роботи, зокрема організаційні, господарські й технічні заходи, спрямовані на відновлення й докорінне поліпшення стану ґрунтів. Вони переконані, що за умови науково обґрунтованого механічного оброблення ґрунту, своєчасного внесення необхідної кількості органічних і мінеральних добрив та забезпечення оптимального повітряно-водного режиму можливі нейтралізація шкідливих хімічних і біологічних домішок і підтримання родючості ґрунту впродовж віків. Як аргумент на користь цього погляду в літературі наведено такі дані: у чорноземах міститься стільки азоту і фосфору, скільки необхідно для отримання середнього врожаю пшениці впродовж 250 років, а калію — впродовж 3000 років.

Зрозуміло, у полеміці зі своїми опонентами оптимісти недооцінюють такі принципові речі: по-перше, окультурені ґрунти, які експлуатують протягом тривалого часу, є дуже трансформованими екосистемами, що різко відрізняються за своїми фізико-хімічними і біологічними характеристиками від своїх природних аналогів; по-друге, в агроекосистемах відбуваються якісно й кількісно інші біогеохімічні процеси колабігу хімічних елементів і перетворення енергії. У міру того як здійснюється експлуатація ґрунтів, у них порушується співвідношення біогенних макро- і мікроелементів, можуть накопичуватися шкідливі хімічні елементи, з'являтися бактерії, мікроскопічні гриби й мікрофауна — збудники хвороб рослин, тварин і людини. Уна-

слідок згаданих змін і нагромадження шкідливих метаболітів рослин та мікроорганізмів у ґрунтах розвивається явище ґрунтовтоми, якому легше запобігти, ніж боротися з ним. В інтенсивно оброблюваних ґрунтах, а нерідко і в рослинах, вирощуваних на них, виявляють небезпечні для здоров'я людини інгредієнти: нітрати, нітрити, нітрозосполуки, важкі метали, радіонукліди, антибіотики, діоксини, вуглеводні, пестициди та продукти їхнього розпаду і трансформації. Крім того, при порушенні санітарно-гігієнічних вимог разом із сільськогосподарською продукцією, отриманою на відкритих і закритих ґрунтах, в організм людини потрапляють патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, яйця й личинки гельмінтів) та хімічні токсиканти, що можуть викликати різноманітні хвороби й патологічні стани [42, 43].

Щодо стійкості до забруднення ґрунти поділяють на такі категорії: 1) сильнотійкі; 2) стійкі; 3) середньої стійкості; 4) малостійкі 5) дуже малостійкі [3]. Це означає, що за приблизно рівного техногенного навантаження різні ґрунти зазнають різних змін, і для їх відновлення потрібні більші чи менші зусилля та кошти. Це ще один доказ проти надмірного оптимізму стосовно «вічної» експлуатації ґрунтів. Вагомим аргументом на користь «закону втраченої родючості» є й такий факт: унаслідок ерозії ґрунтів, інтенсифікованої під час їх обробітку, в річкову систему й далі у Світовий океан щорічно потрапляє близько 24×10^9 родючого поверхневого шару ґрунтів. Отже, перш ніж дати відповідь на запитання: коли почалася деградація ґрунтів, маємо здійснити екскурс у другу половину пізнього голоцену, коли люди стали випалювати і вирубувати ліси з метою розширення орних площ. З початком знищення широколистяних порід дерев стала збільшуватися питома вага хвойних, почали поширюватися рослини-індикатори господарської

діяльності [44]. На превеликий жаль, знищення лісових масивів планети триває й досі. З року в рік зростають обсяги їх вирубування й лісових пожеж: горять ліси майже в усіх регіонах планети. У 2007 р. тяжкі економічні й екологічні наслідки спричинили лісові пожежі в Іспанії, Туреччині, Греції та в Україні. Вигорання лісів, які здавна виконували унікальну роль закріплення сипких пісків і поліпшення гідротермічного режиму, неминуче негативно позначиться на темпах опустелювання степів Херсонщини. Лише через багато років можна компенсувати втрати, завдані пожежами лісів Кримських яйл. Отже, однією з основних причин деградації ґрунтів є скорочення площ заліснених територій. Через використання деревини як палива у світі щороку вирубують 1730 млн куб. м дерев і лісових плантацій (<http://www.Grida.No/geo/geo3/...>). У результаті широкомасштабних лісозаготівель і розчищення земель для потреб сільського господарства й будівництва було знищено 580 млн га лісів. За період із 1975 до 1990 рр. переважно для потреб рільництва було ліквідовано 220 млн га тропічних лісів. На 680 млн га лук і пасовищ, передусім в Африці й Азії, відбуваються процеси деградації ґрунтів. Посиленню водно-вітрової ерозії сприяють також руйнування дернини степу й лук, масштабна глибока оранка і неправильний обробіток схилів і терас [10, 13, 24]. Сьогодні на відновлення порушених земель потрібно виділяти дедалі більше коштів, проте, на жаль, у більшості країн щодо цього ще й досі панує залишковий принцип (рис. 3).

З огляду на викладене сучасні технології виробництва сільськогосподарської продукції мають забезпечувати найповніше використання природних ресурсів за максимально можливого скорочення витрат антропогенної енергії на одиницю врожаю та зниження негативної дії сільськогосподарських культур на навколишнє середовище.



Рис. 3. Затрати на відновлення забруднених земель у деяких країнах Європи (дані Світового банку)

Авньокитайські землероби придумали такий влучний вислів: «Нездаро вирощує бур'яни, розумний отримує врожай, а мудрий плаче землю». Ще 2,5 тис. років тому в Південному Китаї, що переживав гостру продовольчу кризу, було винайдено високоефективну і, на наш погляд, екологічно збалансовану систему поливного рисосіяння. Після zalивання чеків водою туди запускали рослиноїдних риб, які поїдали водорості й бур'яни, швидко нагулювали масу та удобрювали ґрунт. Навряд чи тодішні китайці глибоко усвідомлювали процеси, які відбувалися в рисовій агроecosystemі. Це, швидше, був емпіричний винахід, але люди мали від нього подвійну вигоду, оскільки отримували водночас урожай рису і товарну рибу. Достатня кількість їжі була основою економічного прогресу і зростання населення, що заклало підвалини для екологічно збалансованого господарства. Пізніше таке господарювання отримало назву «закону Р. Ліндемана», згідно з яким із будь-якого рівня трофічної піраміди не можна вилучати більше ніж 10% продукції в сухій масі. Люди і тварини як типові консументи найвищого поряд-

ку без очевидної шкоди для біосфери можуть розраховувати на споживання лише 1% первинної продукції. Реально ж сучасне населення планети використовує близько 40% біологічних ресурсів, що, на думку В. Назарова, з часом призведе до поступової елімінації видів живого, а згодом — і самої людини, якщо вона своєчасно не вживатиме адекватних превентивних заходів [45]. Неупереджений аналіз проблеми взаємин у системі «суспільство — природа» показує, що швидкість соціальної еволюції людства разом із її руйнівною дією на біосферу на 3–5 порядків вища за швидкість біологічної еволюції. Іншими словами, між суспільством і природою швидко утворюється прірва, подолати яку можна лише за умови, що людство усвідомить безальтернативність проблеми, зуміє пристосуватися до законів біосфери та буде чітко їх дотримуватися.

У цьому зв'язку, хоча й побіжно, розглянемо найдіозніший наслідок для біосфери від інтенсифікації хліборобства й тваринництва. Це проблема глобальної евтрофікації вод. Термін «евтрофікація» походить від грецького слова «евтрофос» — ситість, жирність, родючість [46]. І хоча найчастіше евтрофікацію визначають як підвищення рівня первинної продуктивності водойм і водотоків унаслідок зростання у воді концентрації біогенних речовин, насамперед азоту, фосфору й теплового забруднення, це явище, на думку Дж. Валентайна, значно складніше й пов'язане з дедалі більшим зростанням чисельності населення Землі, інтенсифікацією народного господарства, залученням у біогеохімічні цикли чимраз більшої кількості біогенних елементів і зростанням загальної ентропії [47]. Негативними проявами евтрофікації є комплекс характерних змін гідрохімічного і гідробіологічного режиму, перебудова і спрощення угруповань природної гідрофлори і фауни, витіснення з екосистем ко-

рисних гідробіонтів і риб, зростання щільності бактерій, надмірне розмноження водоростей, тобто «цвітіння води». Усе це супроводжується погіршенням якості води, її кисневого режиму, накопиченням у ній недоокислених продуктів розкладу органічних речовин і токсинів. В евтрофікованих водоймах спостерігаємо спорадичне вимирання риб, ускладнюється підготовка води на станціях питного водопостачання.

Негативні наслідки евтрофікації можна звести до трьох груп: 1) підрич природних ресурсів (елімінація видів тварин, риб й інших гідробіонтів, втрата якості води водойм тощо); 2) зниження біосферної ролі водних екосистем (гальмування процесів депонування вуглекислоти, евазії кисню в атмосферу, порушення біогеохімічних процесів колообігу біогенних й інших хімічних елементів); 3) збіднення видового різноманіття живого світу, виснаження природних ресурсів, зростання ентропії, зростання захворюваності й вимирання людей.

Згідно з фаховими даними, у 1970 р. у світовому масштабі було отримано 590 млн т зерна (рис, кукурудза, пшениця), у 1995 р. — 7300 млн т, а за прогнозом на 2020 р. — буде отримано майже в півтора рази більше [48]. Завдяки інтенсифікації сільськогосподарського виробництва обсяги агропродукції в останні два десятиріччя зросли з 3,8 до 7,4 млрд тонн. Проте через зростання чисельності населення кількість продовольства, що припадає в середньому на одну людину, залишається незмінною — 1,23 т/рік. Цього результату досягнуто передовсім завдяки економічно розвиненим країнам Західної Європи, Північної Америки, Японії й Австралії, де проживає менше як третина населення Землі. У цих країнах на отримання одиниці харчових продуктів у 50 разів ефективніше використовують ресурси. Разом із тим людству гостро не вистачає продовольства: майже 1 млрд людей сьогодні хро-

нічно голодує, а понад 2 млрд — недоїдає. Тож знову і знову перед нинішньою цивілізацією постає сакраментальне питання: як прогородувати населення планети?

Шукаючи відповідь на запитання стосовно можливих резервів світового виробництва продовольства, зішлемося на ґрунтовне дослідження О. Жученка, у якому, зокрема, відзначено, що подальше зростання врожайності основних сільськогосподарських культур обмежується браком ресурсів (уже досягнуто коефіцієнт врожайності — 0,5–0,8) [49]. Залишається незначний резерв — нерегульовані фактори навколишнього природного середовища, для використання яких із практичними цілями бракує досвіду. Існує низка причин, згідно з якими сподіватися на максимальну віддачу агротехнічних чинників важко. Так, внесення великих доз мінеральних добрив і меліорантів, застосування всього набору пестицидів і засобів механізації призводить до непомірної витрати ресурсів на кожну одиницю додаткової сільськогосподарської продукції. Крім того, агротехніки обов'язково зіткнуться з посиленням залежності продуктивності агроєкосистем від техногенних чинників, зростанням масштабів забруднення та руйнації доквілля; можливе й погіршення якості врожаю та зниження екологічної стійкості агроєкосистем. Той же автор вбачає безпечніші шляхи поліпшення родючості ґрунтів (до декількох разів) завдяки правильному добору культур, попередників і супутників, оптимальному розміщенню видів і сортів відповідно до їхнього генетичного потенціалу і ґрунтово-кліматичних умов. Значні резерви приховані в мікробіоті ґрунтів, яка за належних умов може значно впливати на доступність для рослин поживних компонентів.

Як відомо, агрокультурні ландшафти найбільше підривають видове різноманіття живого. Разом із тим усі одомашнені

зернові, овочеві й плодово-ягідні культури та породи тварин отримані людиною в історичний час саме з природного генофонду. Отже, біорізноманіття живого — це неоціненний дар природи людству, воно дає ключ для генетико-селекційних пошуків, відкриває можливість біотичної регуляції щільності шкідників і патогенів, збільшення врожайності культур завдяки розведенню корисних комах-опилювачів, антагоністів шкідників, збудників хвороб культур та є основою для розроблення і широкого впровадження М-технологій і біопрепаратів. Сучасні селекціонери володіють незрівнянно більшими можливостями як щодо підвищення продуктивності нових сортів, так і щодо надання їм корисних властивостей (стійкість до вимерзання, посухи, хвороб тощо). Їхня діяльність винагороджує людство скороченням обсягів використання отрутохімікатів і багатими врожаєм [40, 41].

З погляду теорії явище техногенного забруднення ґрунтів можна визначити як перехід таких екосистем у якісно новий стан, при якому угруповання місцевих організмів утрачають здатність до адекватних реакцій на ті чи інші впливи абіотичних і біотичних чинників. Спектр прямих і зворотних зв'язків між біотою й речовинами-контамінантами досить широкий: від підпорогових концентрацій, коли мікроєкосистеми ще спроможні нейтралізувати негативні впливи й відновлювати свій первісний стан, до надпорогових і високотоксичних, коли система вже не здатна до саморегулювання й поступово деградує. Незважаючи на те що з початком антропогенної діяльності людини забрудненню різноманітними відходами стали піддаватися всі природні середовища (атмосфера, гідросфера, ґрунти), найбільшу увагу громадськості та вчених привернула гідросфера. За останні 100–150 років створено теорію самоочищення природних і забруднених

вод, на базі якої розроблено і впроваджено низку технологій очищення й підготовки питних вод. Значення цих досліджень переоцінити неможливо. Проте, на жаль, здобутки ґрунтознавців, агрономів, агрохіміків і агроекологів як у фундаментальному, так і в прикладному аспектах видаються надто скромними. На нашу думку, можна говорити лише про початок дослідження тонких механізмів самоочищення ґрунтів, контамінованих шкідливими хімічними і біологічними домішками. Основними біотичними чинниками самоочищення ґрунтів є бактерії, мікроскопічні гриби, вищі рослини і водорості, а також найпростіші і безхребетні тварини. Певну роль у цих процесах відіграють вільні та іммобілізовані ферментні системи, екскретовані згаданими організмами в процесі життєдіяльності або під час автолізу відмерлої біомаси [50]. Щодо самоочищення ґрунтів від патогенних агентів, то, крім давновідомих чинників знезараження (конкуренція за елементи живлення, антибіоз, бактеріотрофна діяльність найпростіших і безхребетних тварин, бактеріофагія), існує чимала кількість робіт щодо насильницького лізису чутливих груп мікроорганізмів літичними бактеріями й екскретованими ними літичними ферментами [48, 51]. Незважаючи на те що в самоочищенні ґрунтів основна роль належить гетеротрофним мікроорганізмам, упродовж останніх років нагромаджено чималий експериментальний матеріал, що засвідчує значний внесок у згадані процеси ризосфери природних і культурних рослин. Так, коренева система рослин екскретує в ґрунт багато різновидів метаболітів (вуглеводи, амінокислоти, органічні кислоти, вітаміни, гормони тощо), які створюють умови для бурхливого розвитку мікроорганізмів та екскреції ферментів (естерази, пероксидази, гідролази тощо) і разом з аналогічними ферментами мікроорганізмів беруть участь в окисненні, гідролізі й пере-

творенні органічних і мінеральних сполук ґрунту [38, 52, 53]. Рослини як і мікроорганізми можуть накопичувати у своїй біомасі й знешкоджувати шляхом окислення або співокислення навіть хімічно стійкі ароматичні речовини, зокрема такі високотоксичні, як діоксини [54]. Наскільки важлива роль рослин у самоочищенні ґрунтів, свідчать такі дані: якщо у вільному ґрунті мінералізується впродовж певного проміжку часу 7% діазинону і паратіону, то в ризосфері – 18%.

Протягом останніх років набула поширення технологія фіторемедіації, яка вдало поєднує можливості рослин і мікроекосистем ґрунту. За нашим переконанням, майбутнє належить фіторемедіації, порівняно з іншими відомими технологіями меліорації ґрунтів. Це зумовлено високою економічністю й екологічністю цієї технології. Завдяки їй у США планують відновити 32 тис. ділянок ґрунту різного розміру, які виведені з обігу внаслідок хімічного забруднення. Американські вчені вважають, що технологія фіторемедіації виявиться дешевшою й ефективнішою під час рекультивації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. При цьому фахівці Департаменту енергетики США збираються використати вирощену фітомасу бобових фіторемедіантів для виробництва біогазу й отримання понад 50 тис. мегават електроенергії.

Використання рослин для деконтамінації радіаційно забруднених ґрунтів має свою історію. За їх допомогою очищено низку атолів у Тихому океані, де раніше випробовували атомну зброю, а також промайданчик у м. Нідерхайм (Німеччина), де свого часу було ліквідовано застарілу АЕС. Певний досвід у справі фіторемедіації радіаційно забруднених територій унаслідок аварії на ЧАЕС накопичений і в Україні. Так, наприклад, О. Ступенко та ін. розробили технологію, що включає такі заходи, як вилучення й захоронення радіаційно за-

брудненого травостою, оранка та внесення мінеральних добрив і хімічних меліорантів, висівання різних травосумішей [31]. Випробування технології на природних кормових угіддях Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської та Чернігівської областей показало, що вона знижує рівень забруднення зеленої маси й сіна радіоактивним цезієм в 1,3–3 рази при підвищенні врожайності в 1,5–2 рази.

Зауважимо, що матеріали згаданої вище монографії [49] доводять необхідність об'єктивного оцінення агрокліматичного потенціалу тієї чи іншої макро-, мезо- і мікротериторії. Кожна країна повинна мати свій специфічний набір культур і сортів, добре пристосованих до місцевих ґрунтово-кліматичних, погодних, технологічних, соціально-економічних особливостей, які б забезпечували найкращу реалізацію як природної, так і ефективної родючості.

Не можна не погодитися з І. Неклюдовим та іншими фахівцями, які пропонують для розв'язання надскладних науково-технічних, економічних, соціальних і екологічних завдань з притаманними їм великою кількістю параметрів, нелінійністю та мінливістю в просторі й часі застосовувати так звані еволюційні алгоритми [56]. Без сумніву, до таких проблем, що вимагають сучасних евристичних комп'ютерних технологій оптимізації, належить й проблема управління сільським господарством. Успішність використання таких технологій уже доведено в деяких галузях народного господарства й медицини [58, 59]. Таким методологічним підходом при розв'язанні проблем взаємодії людства і природи повинні керуватися спеціальні служби ООН, чисельні громадські міжнародні організації й національні уряди в галузі розроблення та імплементації конкретних дій, спрямованих на забезпечення стратегій сталого розвитку своїх країн.

* * *

Узагальнюючи наведені в статті матеріали, можна зробити такі висновки:

1. Ґрунти, еволюційно сформовані внаслідок тривалої взаємодії таких складників, як геологічні породи поверхні Землі, клімат, біота й людська діяльність, належать до найскладніших екосистем, що виконують надзвичайно важливі біосферні й соціально-економічні функції.

2. Володіючи буферністю й певним потенціалом самоочищення і самовідновлення, ґрунти сьогодні повсюдно піддаються антропогенним (техногенним) впливам (механічний обробіток, переущільнення, водно-вітрова ерозія, забруднення, виснаження, закислення, підтоплення, засолення тощо), що призводять до погіршення їхніх фізико-хімічних і біологічних властивостей і поступового виснаження та втрати родючості.

3. Значних втрат зазнають ґрунти під час природних і техногенних катастроф, випробувань зброї та військових операцій. Унаслідок найбільшої техногенної аварії сучасності на Чорнобильській АЕС радіаційно забруднено понад 100 тис. км² сільськогосподарських угідь і заселених територій України, Білорусі й Росії. Під час військового конфлікту на Балканах лише в Боснії та Герцеговині постраждало майже 6 тис. га сільськогосподарських угідь (знищення лісів, ерозія й ущільнення ґрунтів, викиди отруйних речовин із зруйнованих промислових і енергетичних підприємств, заміновані поля тощо).

4. Людство втрачає великі масиви орних земель унаслідок їх забудови, що отримало новий імпульс, починаючи з 1990-х років ХХ століття. До найбільш забудованих країн (16–20% від усіх земельних угідь) належать Бельгія, Голландія, Іспанія, деякі причорноморські країни.

5. Використання застарілих екологічно брудних технологій в енергетиці, промис-

ловості, комунальному й сільському господарстві є джерелом масштабних викидів твердих, рідких і газоподібних відходів, для складування яких переважно застосовують поверхневе та ґрунтове захоронення. Десятки тисяч смітників на території України стали причиною забруднення повітря шкідливими випарами, а ґрунтів і ґрунтових вод — токсичними фільтратами та біогенними елементами, що викликають евтрофікацію поверхневих водойм.

6. У традиційному сільському господарстві нагромадилися кількісні та якісні негативні зрушення, що спонукають суспільство до «зміни парадигми». Зважаючи на обмеженість земельних ресурсів і той факт, що 20% населення світу споживає в розрахунок на 1 людину в 50 разів більше природних ресурсів, ніж у країнах, які розвиваються, та викидає в довкілля близько 80% промислових відходів, актуальне питання справедливого розподілу природних ресурсів планети.

7. Світова наукова еліта повинна в найкоротші терміни (до 2009–2010 рр.) окреслити заходи, спрямовані на призупинення негативних процесів, що відбуваються нині в агроєкосистемах і сільськогосподарських ландшафтах, та на підтримання балансу в процесах взаємодії біосфери і ґрунтових екосистем. Конкретними кроками в цьому напрямі можна вважати:

а) повсюдне впровадження систем агро-екологічного контролю;

б) селекцію, підбір та районування високопродуктивних сортів рослин і порід тварин в агроєкосистемах різного рівня, розміру і форм власності (індивідуальне господарство, ферми, великі товарні господарства) з урахуванням змін клімату;

в) експлуатацію агроєкосистем за умови максимально можливого використання місцевих відновлювальних матеріальних ресурсів і джерел енергії, формування оптимальної інфраструктури агроландшафтів із

метою отримання високих урожаїв і збереження видового різноманіття.

8. Ураховуючи загострення суперечностей, що виникають у суспільстві під час перебудови традиційного сільського господарства в сучасне, необхідно прийняти нову парадигму і методологію досліджень, що базуються на евристичних комп'ютерних технологіях оптимізації. Вони передбачають сталий розвиток цивілізації з ощадливим використанням природних ресурсів на основі реалізації відповідних національних, регіональних і світових програм.

9. Здійснення науково обґрунтованої оптимізації посівних площ і систем ведення сільськогосподарського виробництва на засадах мінімального обробітку ґрунтів і органічного землеробства за умови широкого використання відходів тваринництва і харчової промисловості, стерні, соломи та біомаси сидератів із метою запобігання ґрунтовтомі, підтримання високого рівня гумусоутворення, відновлення структури та поліпшення фітосанітарного стану цих ґрунтів.

10. Широке застосування способів біологічної або фіторемедіації забруднених і отруєних земель, розроблення і впровадження базових технологій землеробства на порушених землях (колишні гірничорудні виробки, місця складування породи, шлаків, еродовані, підтоплені, осолонцьовані, радіаційно забруднені ґрунти тощо) з метою їх рекультивації, отримання на них технічної сировини, кормів, а в майбутньому і продовольства.

11. Розроблення і впровадження системи заходів щодо підвищення економічної ефективності і екологічної безпеки мінеральних добрив і мікроелементів, хімічних меліорантів і засобів захисту рослин від хвороб, шкідників і бур'янів.

12. За допомогою втілення спеціальних науково-технічних методів з інтенсифіка-

ції процесів азотфіксації (внесення легкоокислюваних органічних добрив, збільшення питомої ваги бобових культур у сівозмінах, застосування препаратів вільноживучих азотфіксувальних бактерій) досягти збільшення обсягу використання в землеробстві біологічного азоту до 35–45%.

Отже, ідея сталого розвитку світової економіки сьогодні дедалі більше опановує суспільну свідомість, акумулюючи результати багаторічних досліджень впливу людини на довкілля, адже людство з кожним роком безповоротно втрачає біологічне розмаїття, виснажуючи природні ресурси. Крім того, інтенсифікація антропогенної діяльності призводить до порушення природних механізмів функціонування біосфери й ґрунтових екосистем як основного її блоку. Ось чому програмні й стратегічні ініціативи вчених, урядовців, політиків, усіх людей доброї волі сьогодні мають бути спрямовані на розроблення довгострокових програм розвитку суспільства з урахуванням поглибленого аналізу впливу глобальних природних і техногенних процесів на всі сфери життєдіяльності людства.

1. *Lewandowski J., Leitschuk S., Volks K.* Schadstoffe im Boden/ Einefubrung Analytik und Bewertung. — Berlin: Springer Verlag. — 1997. — 339 p.
2. *Руденко М.* Енергія прогресу. — К.: Молодь. — 1998. — 527 с.
3. *Никитин Д.П., Новиков Ю.В.* Окружающая среда и человек. — М.: Высш. школа. — 1986. — 415 с.
4. *Toulmin C.* Lessons from the theatre: should this be the final curtain call for the convection to combat desertification?. — WSSD opinion series. Intern. Inst. for Enviroment and Development // http://www.yield.erg/pdf/wssd_02_drylands // Geo. — 2001. — Vol. 2. — P. 170.
5. *Sanwald J., Thorbrietz P.* Unser Boden, unser Leben. Rastatt: Verlag Arthur Mowig GmbH. — 1988.
6. GACGC. World in transition: The treat to soils: Annual report. German Advisory council on Global Change. — Bonn: Economica Verlag GMBH. — 1994.

7. Doom to earth: soil degradation and sustainable development in Europe. A challenge for the 21st century. Env. issues ser. №6. — EEA, UNEP, Luxembourg, 2000.
8. *Багнюк В., Мовчан Я., Цивінський Г.* Водно-меліоративні реалії України // Вісник НАН України. — 2002. — №12. — С.33–44.
9. *Багнюк В., Дідух Я., Цивінський Г.* Після великої меліорації (Критичні думки щодо проекту «Стратегія економічного та соціального розвитку Херсонської області до 2015 року») // Вісник НАН України. — 2007. — №7. — С. 28–37.
10. *Ковда В.А.* Почвоведение и продуктивность биосферы // Вестник АН СССР. — 1970. — Вып. 6. — С. 83–90.
11. *Зони С.В., Травлев А.П.* Географо-генетические аспекты почвообразования, эволюции и охраны почв. — К.: Наук. думка, 1989. — 216 с.
12. *Бараев А.И.* Избранные труды. Почвозащитное земледелие. — М.: ВО Агропромиздат, 1988. — 380 с.
13. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / За ред. М.К. Шикюли. — К.: НАУ Оранта, 2000. — 389 с.
14. *Сайко В.Ф., Малієнко А.М.* Системи обробітку ґрунту України. — К.: ВД «ЕКМО», 2007. — 44 с.
15. *Jansen A.G.* Agro-ecosystems in future society // Agro-Ecosystems. — 1974. — №1. — P. 69–80.
16. *Тараріко Ю.О.* Формування сталих агросистем: теорія і практика. — К.: Аграрна наука, 2005. — 506 с.
17. *Багнюк В.М., Мирошук В.И., Макаренко Т.И., Подорванов В.В.* Эндогенное дыхание хлореллы в присутствии нитрозоафтолов и их производных // Альгология. — 1991. — Т. 1. — № 4. — С. 36–39.
18. *Багнюк В.М., Мирошук В.И., Подорванов В.В., Сиднев Ю.П.* Особливості взаємодії золів металів з мікрородоростями *Chlorella vulgaris* Beijer. та *Dunaliella salina* Teod. // Доповіді НАН України. Серія Біологія. — 1997. — № 11. — С. 155–159.
19. Растительный мир Земли: пер. с нем. / Под ред. Ф.Фукарека. — М.: Мир, 1982. — Т. 2. — 182 с.
20. *Ситник К., Багнюк В.* Біосфера і клімат: минуле, сьогодення і майбутнє // Вісник НАН України. — 2006. — № 9. — С. 3–20.
21. *Sauerborn P. et al.* Future rain fall erosivity derived from large-scale climate models — methods and scenarios for humid region // Geoderma. — 1999. — Vol. 93. — P. 269–276.
22. *Дідух Я.* Енергетичні проблеми екосистем і забезпечення сталого розвитку України // Вісник НАН України. — 2007. — № 4. — С. 3–11.

23. Титлянова А.А., Тихомиров Н.А., Шатохина Н.Г. Продукционный процесс в агроценозах. — Новосибирск: Наука, 1982. — 185 с.
24. Агроэкология / Под ред. В.А.Черникова и А.И. Чекереса. — М.: Колос, 2000. — 536 с.
25. Возраст и эволюция черноземов / Н.Я. Марголина, А.Л. Александровский, Б.А. Ильичев и др. — М.: Наука, 1988. — 144 с.
26. Комаров Н.Ф. Этапы и факторы эволюции растительного покрова черноземных степей. — М.: Географиз, 1951. — 328 с.
27. Семенова-Тяньшанская А.М. Накопление и роль подстилки в травяных сообществах. — Л.: Наука, 1977. — 191 с.
28. Марков К.К., Гричук В.П., Чеботарева Н.С. и др. Взаимоотношения леса и степи в историческом освещении // Вопросы географии. — 1950. — Сб. 23. — С. 85–120.
29. Хотинский Н.А. Голоцен Евразии. — М.: Наука, 1977. — 200 с.
30. Пьявченко Н.И. Торфяники русской лесостепи. — М.: Изд. АН СССР, 1958. — 180 с.
31. United Nations economic commission for Europe. Environmental performance review of Kazakhstan. — Geneva: UNECE, 2000.
32. Милевский Е.Ю., Шейн Е.В. Структура почв // Природа. — 2003. — №3. — С. 28–32.
33. Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова Л.Д. Стационарные электрические поля в почвах. — М.: КМК Scientific Press LTD, 1996. — 358 с.
34. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. — М.: ВО Агропромиздат, 1990. — 287 с.
35. Носко Б.С. и др. Оптимизация режимов и свойств черноземов Украины // Вестник с.-х. наук. — 1986. — №7. — С. 53–58.
36. Rhizobiaceae, молекулярная биология бактерий, взаимодействующих с растениями / Под ред. И.А. Тихоновича и Н.А. Говорова. — Санкт-Петербург, 2002. — 563 с.
37. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Микробиология. — М.: Колос, 1970. — 344 с.
38. Fritsche W. Umwelt Mikrobiologie. — Gustav Fisher, Jena, Stuttgart, Lubeck, 1998. — 252 s.
39. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. — К.: Наук. думка, 1969. — 515 с.
40. Agriculture and Biodiversity: questions and answers. 2. — Centre Naturopa/Council of Europa, Strasbourg Cedex, 1997. — 36 p.
41. Перспективи використання, збереження та відтворення агробіорізноманіття в Україні / Відп. ред. В.П. Патики, В.А. Соломаха. — К.: Хімджест, 2003. — 256 с.
42. Schubert R., Hilbig W., Klotz S. Bestimmungsbuch der pflanzengesellschaften Deutschlands. — Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2001. — 471 s.
43. Гігієна харчування з основами нутриціології / За ред. В.І. Ципріяна. — К.: Наук. думка, 1999. — 568 с.
44. Бурда Р.И. Антропогенная трансформация флоры. — К.: Наук. думка, 1991. — 169 с.
45. Назаров В.И. Идея «превращения» биосферы в ноосферу глазами биолога // Бюлл. МОИП. Отдел. биол. — 2004. — Т. 109. — Вып. 3. — С. 3–8.
46. Eutrophication: Research and application to water supply / Ed. D.W. Sutcliffe and J. G. Jones // Fresh water Biol. Assoc. — 1992. — 185 p.
47. Vallentyne J.K. The algal bowl Faustian view of eutrophication // Feder. Proceedings. — 1973. — Vol. 32. — №7. — P. 1121.
48. Reid T.R. Can the planet produce enough food to feed the billions, who will be born in the future // Nat. Geographic USA. — 1998. — P. 58–65.
49. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика): В двух томах. — М.: ООО «Издательство Аграрус», 2004. — 1156 с.
50. Багнюк В.М., Гордецкий А.В., Кучерук Д.Д. Биологическая очистка сточных вод с помощью иммобилизованных ферментов // Тезисы докл. респ. науч.-теорет. конф. мол. ученых-микробиологов. — Ташкент: ФАН, 1976. — С. 128–129.
51. Багнюк В.М. Литические бактерии как фактор регуляции микробиоценозов активного ила // Тезисы докл. съезда Всес. микробиол. об-ва. — 1989. — Т. 6. — С. 31.
52. Сытник К.М., Книга Н.М., Мусатенко Л.И. Физиология корня. — К.: Наук. думка, 1972. — 355 с.
53. Waisel V.J., Eschel A., Kafkafi N. Plant roots / The Hidden N., Dekker M. Inc. — New York, 1996.
54. Патики В., Багнюк В. Хлороорганічні речовини і біотехнології очищення ґрунтів // Вісник НАН України. — 2004. — №6. — С. 22–31.
55. Ступенко О.В., Витриховський Т.І., Лев Т.Д. Особливості протирадійних заходів на ґрунтах, що характеризуються підвищенням переходом у рослини радіонуклідів // Наук. вісник УААН. — 2001. — Вип. 45. — С. 25–32.
56. Неклюдов І., Клепиков В., Корда В., Шепелев А., Немошало О., Юрченко Л., Тутубалін А., Корда Л., Шляхов М. Еволюційні алгоритми у природничих науках // Вісник НАН України. — 2005. — №9. — С. 20–25.
57. Michalewicz Z. Genetic Algorithms + Data + Structures = Evolution Programs. — Berlin: Springer-Verlag, 1994. — 453 p.
58. Sahiner B., Chan H.P., Petrick N., Helvie V.A., Goodstitt M.M. Design of high-sensitivity classifier to computer-aided diagnosis // Phys. Med. Biol. — 1998. — Vol. 43. — P. 2853–2871.

К. Ситник, В. Багнюк

СТАН ҐРУНТІВ І МАЙБУТНЄ ЛЮДСТВА

Резюме

На підставі наявних відомостей суміжних галузей знань у статті проаналізовано проблему взаємодії біосфери й ґрунтових екосистем як основного її блоку. Зростання населення Землі вимагає дедалі більшого освоєння орних площ та інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, що призводить до деградації, виснаження й падіння родючості ґрунтів, і порушення природних механізмів функціонування біосфери. Окреслено низку заходів, які, на думку авторів, сприятимуть сталому розвитку людства і збереженню біосфери, у тому числі ґрунтових екосистем.

K. Sytnyk, V. Bagnyuk

SOIL STATE AND HUMANITY FUTURE

Summary

The article presents an analysis of the problem of biosphere and soil ecosystems as its main block interrelation based on data of related fields of knowledge. The Earth population growth demands more agricultural land development and intensification of agricultural production, that results in degradation, impoverishment and decline of soil capacity, and deterioration of natural mechanisms of biosphere functioning. The authors identify a number of measures which will contribute to steady development of humanity, biosphere and soil ecosystem preservation.