

РУСЛАН ШЛАМОВ
МИКИТА КАЛІБЕРДА
ГЕОРГІЙ НОСОВ

Біологія екологія

**(РІВЕНЬ СТАНДАРТУ)
ПІДРУЧНИК ДЛЯ 11 КЛАСУ
ЗАКЛАДІВ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ**

**РЕКОМЕНДОВАНО МІНІСТЕРСТВОМ
ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



Харків
2019

УДК 57+504(075.3)
Б63

Авторський колектив:
Р. В. Шаламов, М. С. Каліберда, Г. А. Носов

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 12.04.2019 № 472)

Б63 Біологія і екологія (рівень стандарту): підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти / Р. В. Шаламов, М. С. Каліберда, Г. А. Носов. — Харків: Соняшник, 2019. — 320 с.: іл.

ISBN 978-617-7673-06-3

Підручник написано відповідно до вимог Державного стандарту базової й повної загальної середньої освіти та навчальної програми з «Біології і екології» (рівень стандарту) для закладів загальної середньої освіти. У книзі висвітлені основні досягнення у галузі екології, раціонального природокористування й охорони природи; здорового способу життя й біологічних основ здоров'я; застосування досягнень біології в селекції, біотехнологіях, медицині. Підручник містить актуальні факти й результати відкриттів, описує досягнення в медицині й біології, зроблені нещодавно. Особливу увагу приділено формуванню ключових компетентностей в учінства, застосуванню навчального матеріалу в реальному житті, вихованню молодих громадян і батьків, стимулюванню підприємливості. Навчальне видання призначене для учнів і учениць 11-х класів закладів загальної середньої освіти, студентів і студенток закладів професійної і професійно-технічної освіти, учителів і вчительок біології та всіх, хто цікавиться природознавчою тематикою.

УДК 57+504(075.3)

ISBN 978-617-7673-06-3

- © Шаламов Р. В., Каліберда М. С., Носов Г. А., 2019
- © ТОВ «ТО «Соняшник», оригінал-макет, художнє оформлення, 2019

Дорогі читачі й читачки цієї книги! Продовження курсу «Біологія й екологія» у 11-му класі має на меті ще більше зміцнити ваші переконання щодо важливості збереження довкілля й здоров'я. Як і раніше, на сторінках книги ви знайдете пояснення актуальних уявлень щодо функціонування живої природи. Також у текстах вам варто віднайти відповідь на питання: як я можу застосувати набуті знання й уміння в житті? Відповідь на нього потрібно дати якомога швидше, оскільки ваш учитель чи вчителька біології можуть бути останніми професійними біологами чи біологинями в житті. Тож отримайте від них те, що вам необхідно для здорового й щасливого існування та цивілізованої взаємодії з довкіллям.

Курс «Біологія й екологія» в 11-му класі складається з п'яти тем. Перша з них має назву «**Адаптації**». Вона присвячена пристосуванням організмів до умов середовища, їхньому формуванню на різних рівнях організації живої природи, а також способам співіснування організмів між собою. Наступні теми — «**Екологія**» і «**Сталий розвиток і раціональне природокористування**». Із їхньою допомогою ви усвідомите значення екології в сучасному світі й навчитеся так взаємодіяти з природою, щоб отримувати від неї максимум користі й водночас не завдавати шкоди. Тут ви дізнаєтесь про проблеми довкілля в Україні і світі, намагатиметесь укласти шляхи їх подолання й недопущення, зможете надихнутися ідеєю сталого розвитку. Наступна тема має назву «**Біологічні основи здорового способу життя**». Як прожити довге й здорове життя? Як досягти успіху й не втратити його через проблеми зі здоров'ям? Як допомогти власній родині — батькам і майбутнім дітям — бути щасливими й самодостатніми? Ви також усвідомите, наскільки важливим є контроль над розповсюдженням інфекційних агентів, станом навколишнього середовища й виробництвом різної продукції в збереженні здоров'я людства. Зрештою, завершенням курсу є тема «**Застосування результатів біологічних досліджень у медицині, селекції та біотехнології**», яка занурить вас у світ найсучасніших і найактуальніших здобутків біологічної науки та їхнього використання на благо людства. Тут ви не тільки усвідомите важливість і необхідність розвитку біології, а й, можливо, знайдете свій шлях у житті в царинах медицини, селекції чи біотехнології, бо він є одним із найперспективніших сьогодні.

Для розкриття окремих тем ми доповнили параграфи рубрикою «**Цікаве життя**», де поділилися з вами різними цікавинками, дотичними до них. Завдання, розміщені після параграфів, справді не варто оминати. Завдяки ним ви навчатиметесь мислити критично, а це вміння є надважливим на шляху до успіху в сучасному світі!

А вам, наші дорогі колеги й колежанки, ми пропонуємо зручний методичний апарат підручника, цікаві питання й ідеї проектів, що спрямовані на формування в учнівства ключових життєвих і предметної компетентностей, критичного мислення й життєвих умінь.

Авторський колектив висловлює щиру подяку своїм учителям і вчителям, учням і ученицям! Думки про вас не залишали нас у процесі написання підручника. Ми мали чітку внутрішню настанову на те, щоб виправдати сподівання тих, хто нас учив, і бути цікавими й корисними для тих, кого вчимо ми.

**Успіхів нам у пізнанні такого прекрасного й унікального явища,
яким є життя!**



АДАПТАЦІЇ

§ 1. Адаптація — властивість біологічних систем

Різноманіття форм життя є наслідком адаптацій

Усе різноманіття живого на всіх рівнях організації — від молекулярного до біосферного — є пристосованим, тобто адаптованим, до тих умов, у яких воно існує. Чи це молекула ферменту, що пришвидшує проходження реакції синтезу, чи це спеціалізована клітина в серці, чи це рослина на схилі гори, чи лісове озеро — усі згадані біологічні системи функціонують саме в тому оточенні, за тієї температури, освітленості, вологості тощо, які є довкола них. Тобто вони є пристосованими до свого середовища мешкання. А значна кількість різних живих організмів, яких ми маємо змогу спостерігати в довкіллі, якраз і є наслідком різноманітності умов оточення. Інакше кажучи, саме процес пристосування організмів до умов навколишнього середовища й породжує все різнобарв'я живої природи. Ба більше, саме адаптація організмів та їх угруповань до довкілля якраз і є метою еволюційного процесу, оскільки чим краще є пристосованою біологічна система до умов свого існування, тим вона більш еволюційно успішна. Тому важко не погодитися з еволюційним фізіологом Леоном Орбелі, який стверджував, що «поняття “життя” й “адаптація”, якщо й не ідентичні, то значною мірою перекривають одне одного». Саме вивченню властивостей адаптацій, їх різноманіття та формування й буде присвячено цей розділ.

У процесі адаптування виникають пристосування, що покращують виживання й відтворення організмів

Поняття «адаптація» зрозуміле саме собою: у тюленя є ласти, щоб плавати (рис. 1.1, А), у ластівки — крила, щоб літати, у соняшника — яскраві квітки для приваблення комах-запилювачів тощо. Це і є яскраві й очевидні приклади адаптацій, тобто пристосувань організмів до навколишнього середовища. З огляду на сказане вище можна зрозуміти, що **адаптація**¹ — це певна



Рис. 1.1. Різні типи адаптацій

А. Тюлень-монах, занесений до Червоної книги України через загрозу зникнення, має ласти в якості морфологічної адаптації до руху у воді. **Б.** Солонець здатний рости навіть у «морських калюжах» — заглибинах, що час від часу заповнюються морською водою, через що концентрація солей у ґрунті значно перевищує таку у воді. **В.** Самець глухаря під час токування втрачає пильність і стає легкою здобиччю мисливців.

¹ Від лат. *adaptatio* — пристосування.

характеристика організму, що покращує його виживання та відтворення за певних умов. Окрім адаптації як наслідку, тобто характеристики організму, нею часто називають і сам процес виникнення таких пристосувань (далі — адаптування). Говорячи про виживання та відтворення організму, мають на увазі популяцію й вид загалом. Тобто адаптації, що виникають на рівні молекул, клітин, органів чи організмів, повинні сприяти виживанню популяції й виду, а не окремого організму (хоча й не виключають останнього). Крім того, адаптації можуть з'являтися й на вищих за організмовий рівнях організації живого. Наприклад, кількість особин різних видів, популяції яких входять до складу екосистеми, буде змінюватися при появі в ній нового виду або зміні умов середовища. Але ми, здебільшого, будемо розглядати адаптації саме на організмовому рівні організації живого.

Важливо зазначити, що адаптація не обов'язково є рисою будови (морфологічною), як у зазначених вище прикладах із тюленем, ластівкою й соняшником. Наприклад, адаптацією може бути фізіологічна ознака. Так у рослин, що зростають на засолених ґрунтах (рис. 1.1, B), вища концентрація солей у цитоплазмі, ніж у рослин звичайних ґрунтів, завдяки чому вони краще поглинають воду із землі¹. Адаптація може бути й поведінковою, як-от гучне токування самців глухаря задля приваблення самок (рис. 1.1, B).

Усі адаптації мають ряд спільних властивостей

У кожній адаптації має бути певна **пристосувальна мета** або **функція**. Тобто зміни, що відбуваються в будові, життєдіяльності чи поведінці організму, повинні покращувати його здатність до виживання й сприяти більш ефективному розмноженню. Так, наприклад, вихід рослин на суходіл у процесі історичного розвитку потребував адаптування до гравітації, що проявилось у формуванні

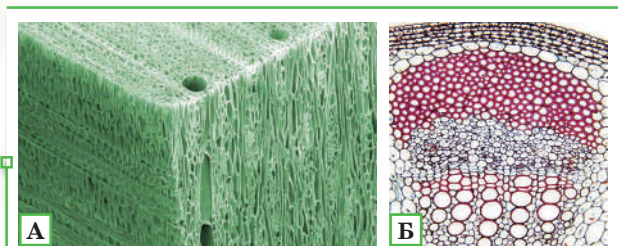


Рис. 1.2. Опорні структури рослин

А. На зрізі деревини під електронним мікроскопом видно численні видовжені клітини механічної тканини.

Б. Провідний пучок листка кукурудзи містить клітини механічної і провідної тканин із товстими клітинними стінками (зафарбовано червоним), завдяки яким він надає міцності усій листовій пластині.

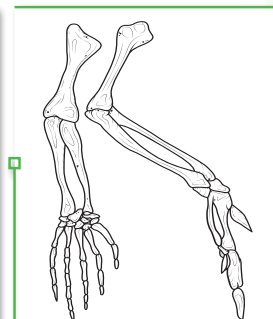


Рис. 1.3. Скелет передньої кінцівки ящірки (ліворуч) і крила птаха (праворуч)

¹ Вода «намагається» розбавити цитоплазму, оскільки в ній концентрація солі вища, ніж поза клітиною. Таке явище руху розчинника з менш концентрованого розчину до більш концентрованого має назву осмос.

механічних тканин та опорних структур (рис. 1.2). А тварини для того, щоб жити на суходолі, набули кінцівки з системою важелів замість плавців.

Ще однією властивістю адаптацій є те, що вони **успадкоковуються**. Тобто щоб уважати адаптацією певну ознаку, що має пристосувальну мету, вона повинна успадковуватися. Варто розрізняти адаптації й пристосувальні модифікації, яких організм набуває протягом життя. Так, наприклад, зростання кількості еритроцитів у крові людей, які починають мешкати у високогір'ї, має пристосувальну мету, але не успадковується. А от здатність збільшувати кількість еритроцитів у крові за нестачі кисню є повноцінною адаптацією. З другого боку, наявність сосків у чоловіків успадковується, але немає ніякого пристосувального значення¹. Тому перш ніж стверджувати, що певна характеристика є адаптацією, її потрібно добре проаналізувати. Однак переважна більшість рис організмів має пристосувальне значення.

Утім сформувані нові адаптації, не маючи «матеріалу» для цього, на порожньому місці, неможливо. Тому в кожній адаптації є **певна основа**, що була характерна предковій еволюційній групі, і шляхом зміни чи перебудови якої й виникло нове пристосування. Зразком може слугувати скелет крил птахів, що має значні риси подібності до скелета передніх кінцівок рептилій, на основі якого він формувався (рис. 1.3).

Ще одна риса адаптацій — їх **компромісність**. Яскраво цю властивість демонструє співвідношення кількості нащадків і рівня батьківської турботи про них. Так, у Ропухи зеленої кількість ікринок, які відкладає самиця (власне адаптація), сягає кількох тисяч, у жаби-повитухи — лише кілька сотень, а в суринамської піпи й того менше — близько сотні (рис. 1.4). Річ у тім, що зелена ропуха після розмноження залишає ікру напризволяще, тоді як жаба-повитуха намотує стрічки з ікрою собі на лапи, а суринамська піпа носить ікру на спині. Тобто ропуха не витрачає багато ресурсів на охорону ікри й батьківську турботу про потомство, тоді як повитуха й піпа використовують значний обсяг ресурсів на захист майбутніх нащадків. Із цього випливає, що між ресурсами, що були витрачені на утворення великої кількості ікринок, і ресурсами, що витрачені на догляд, установлюється певний компроміс.

¹ Як і решта рудиментів — органів чи їх частин, що втратили свою функцію.

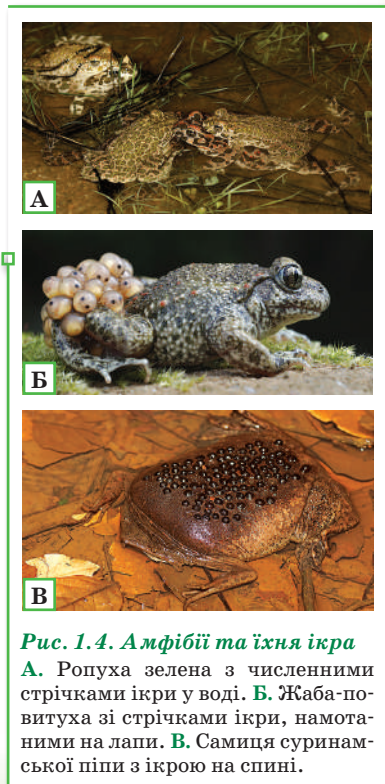


Рис. 1.4. Амфібії та їхня ікра

А. Ропуха зелена з численними стрічками ікри у воді. **Б.** Жаба-повитуха зі стрічками ікри, намотаними на лапи. **В.** Самиця суринамської піпи з ікрою на спині.

Ще один зразок компромісності ознаки — це довга шия жирафа, яка дозволяє йому харчуватися листям, що є недосяжним для наземних трав'яїдних. Але водночас жирафові доводиться більше їсти, щоб «виростити» собі довгу шию й забезпечувати її функціонування. Отже, знову ж таки, є компроміс: чим довша шия, тим більше їжі здобуде жираф, але чим довша шия, тим більше потрібно їсти тварині, тому його шия й має обмежену довжину.

Адаптації мають відносний характер

Будь-яке пристосування організму формується у відповідь до певних вимог навколишнього середовища. І, як наслідок, адаптації мають пристосувальне значення лише до цих умов. Якщо вони зміняться, то й пристосування втрачать своє значення. Яскравим прикладом є плоди дерева хікаро, що росте в Центральній Америці (рис. 1.5, А). Ці плоди мають настільки тверду оболонку, що



А



Б



В

Рис. 1.5. Прояви відносного характеру адаптацій

А. Плід дерева хікаро має настільки тверду оболонку, що його важко розкусити навіть коневі.

Б. Кюв'ероніус — вимерла хоботна тварина, яка жила в Центральній Америці й була здатна розгризати плоди хікаро.

В. Їжак, не боячись отрути, полює на змію.

тільки деякі з них можуть бути розгризені конями. Тому зазвичай насіння так і залишається всередині плоду під деревом, і не розповсюджується тваринами. Уважають, що колись гігантські трав'яїдні, які мешкали в цій місцевості (рис. 1.5, Б), були здатні розгризати плоди й виїдати м'якоть разом із насінням, поширюючи його зі своїми екскрементами. Але з їх вимиранням близько 10–15 тис. років тому плоди стало нікому розгризати, тому тепер цій рослині для розповсюдження насіння потрібно виробляти якісь нові адаптації. Або ж отрута змій діє на більшість їхніх природніх ворогів (наприклад, із родин собачих чи котячих), але не впливає на деяких інших тварин (наприклад, мангустів чи їжаків) (рис. 1.5, В). Тож зміям для абсолютного захисту від усіх ворогів потрібні нові адаптації. А для вироблення таких пристосувань потрібен деякий час (детальніше про процес утворення адаптацій ітиметься в наступному параграфі).

Крім того, пристосування на одному рівні організації живого можуть бути невідповідними на другому. Наприклад, для популяції й виду добре, коли організм утворює багато плідних нащадків. Утім за обмеженого ареалу через деякий час густота популяції¹ ста-

¹ Тобто кількість особин, що мешкає на одиниці площі ареалу.

не настільки великою, що ресурсів перестане вистачати всім. У таких умовах потрібно було б обмежити народжуваність кожного організму. На популяційно-видовому рівні ця адаптація є вигідною, але для кожної особини зокрема (тобто на організмовому рівні) це обмеження таким не буде, бо кількість нащадків із генами певної особини стає меншою, ніж до цього (тобто знижується її еволюційний успіх).

Згадані вище приклади демонструють **відносність** адаптацій, тобто здатність покращувати пристосованість до певних умов і на певному рівні, зі зміною яких адаптація втрачає своє пристосувальне значення.

Організм і середовище мешкання міцно взаємопов'язані

Унаслідок формування адаптацій під впливом умов навколишнього середовища організми стають більш пристосованими, тобто їхня здатність до виживання й ефективність розмноження покращуються. З другого боку, організми змінюють і середовище, що їх оточує, обмінюючись із ним речовинами та енергією, які вони поглинають і виділяють¹. Ба більше, змінене середовище по-новому впливає на організм, який починає пристосовуватися й також по-новому впливати на середовище. Такі взаємодію, взаємозалежність і взаємовплив організму та середовища, у якому він живе, називають **законом єдності організму й середовища його мешкання**.

Яскравим прикладом взаємовпливу організму і середовища його мешкання є життя бобрів. Ці тварини здатні суттєво змінювати місце проживання завдяки побудові гребель. Такі гідротехнічні споруди призводять до утворення заплав і підвищення рівня води в річці. Саме це бобрам і потрібно. Уздовж берегів заплави зазвичай росте більше молодих рослин, якими любляють ласувати ці гризуни. Підвищення рівня води також дає можливість бобрам побудувати хатинки, у яких вони запасують корм, переховуються і зимують. З метою захисту домівки від хижаків, вхід до неї бобри завжди облаштовують під водою, але це неможливо зробити у маловодних річках, тож доводиться модифікувати саму річку. Отже, лише змінивши середовище свого мешкання, вони можуть спорудити житло, але мають зробити це, пристосувавшись до нових, ними ж створених умов середовища. У цьому й проявляється взаємозалежність організму й середовища його мешкання.

Пізніше американський біолог Баррі Коммонер фактично включив це твердження до свого закону екології **«усе пов'язано з усім»**, який ілюструє екологічні відносини як між живими організмами, так і з навколишнім середовищем та людиною зокрема. Згідно з цим законом, будь-які зміни в живому чи неживому компонентах екологічних систем впливають на решту компонентів завдяки наявності різноманітних зв'язків між ними. Докладніше цей закон буде розкрито у § 14.



¹ Таку здатність організму змінювати середовище еволюційний біолог Річард Докінз назвав «розширенням фенотипом», тобто проявом генів поза межами організму.

Елементарно про життя

- 1. Серед наведених характеристик людини оберіть ту, що НЕ є адаптацією.
А засмага **Б** слухові кісточки в середньому вусі
В виготовлення одягу **Г** здатність накопичувати сечу в сечовому міхурі
- 2. За умови обмеження кількості доступних рослині ресурсів вона утворюватиме або багато дрібного насіння, або мало великих насінин. Це свідчить про таку властивість адаптації, як
А здатність успадковуватися **Б** наявність пристосувальної мети
В компромісність **Г** відносність
- 3. Відносність захисної дії зміїної отрути має прояв у
А неспроможності отрути діяти на всіх природних ворогів
Б здатності отрути вражати людину
В збільшенні виживання виду загалом
Г необхідності формування отруйних залоз
- 4. Виберіть прояв закону єдності організму й середовища його мешкання.
А швидкість бігу гепарда зростає внаслідок тренування його м'язів
Б зменшення температури повітря восени є стимулом до пожовтіння листя дерев
В сповільнення росту колонії бактерій у пробірці відбувається внаслідок надмірного збільшення кількості клітин у ній
Г солоність води в морі змінюється, якщо збільшуються обсяги надходження солей і зменшується випаровування
- 5. Увідповідніть адаптацію та рівень організації живого, на якому вона проявляється.

1 розвинута система мікротрубочок	А клітинний
2 вагітність, що триває 22 місяці	Б органний
3 здатність лісу до відновлення після пожежі	В організмовий
4 частота серцевих скорочень 160 ударів на хвилину	Г популяційно-видовий
	Д екосистемний

У житті все просто

- 6. Наведіть власні приклади морфологічних, фізіологічних і поведінкових адаптацій. Доведіть, що в них є всі властивості, характерні адаптаціям.
- 7. Висуньте гіпотезу та запропонуйте дослід, що дозволив би довести пристосувальне значення жовтого кольору крил метелика лимонниці.

У житті не все просто

- 8. У певній африканській екосистемі в левів виникла адаптація, що покращила ефективність їхнього полювання. Проаналізуйте її вплив на всіх рівнях організації живого. Чому на віддалених від організмового рівня така адаптація втрачає своє пристосувальне значення?

§ 2. Закономірності формування адаптацій

Адаптації є наслідком дії природного добру

Тривалий час природодослідників хвилювало питання походження адаптацій. Річ у тім, що адаптація завжди добре відповідає вимогам середовища. Наприклад, широке крило дозволяє яструбу ширяти в потоках повітря майже без помахів крил, вистежуючи здобич біля землі. Натомість вужче й загострене крило ластівки вимагає частіших помахів, проте забезпечує чудове маневрування під час польоту, а тому й легкість у полюванні на дрібних і рухливих комах (рис. 2.1). Тож у вчених здавна поставало питання: чи «знає» природа задалегідь, що вона хоче «створити»? Дати чітку відповідь на нього біологічна наука змогла лише в середині XIX ст. завдяки створенню еволюційної теорії Чарльзом Дарвіном.

Саме еволюційне вчення Дарвіна забезпечило розуміння того, що адаптації виникають поступово в процесі природного добру. Нагадаємо, що **природний добір** забезпечує переважне виживання та розмноження найбільш пристосованих особин у популяції. Завдяки йому зі зміною поколінь у популяції зростає кількість організмів краще адаптованих до даного середовища. Це явище все більшого пристосування в процесі історичного розвитку живого отримало назву **адаптивна еволюція**. Усе різноманіття видів є її наслідком.



Рис. 2.1. Форма крил птахів визначає спосіб польоту

А. Яструб-перепелятник має широке крило, завдяки яким він може тривалий час «зависати» в повітряних потоках у пошуках жертви. **Б.** Загострений край крил ластівки дозволяє пташці швидко змінювати напрямок польоту в процесі полювання на летючих комах.

Але звідки добір «знає», що треба добирати? У результаті спадкової мінливості, тобто утворення мутацій і нових комбінацій спадкового матеріалу (переважно в процесі статевого розмноження), у популяції постійно з'являються особини, чії генотипи, а тому й фенотипи, відрізнятимуться. Під час життя, взаємодіючи з іншими представниками свого виду (наприклад, конкуруючи за їжу чи світло), організмами інших видів (мутуалістами, хижаками, паразитами), умовами абіотичного середовища (наприклад, хто з меншими витратами переживе холоди), частина з усієї різноманітності особин популяції краще виживає й розмножується¹. Так, власне, і реалізується природний добір, завдяки якому з усього різноманіття генів, до нащадків переважно потрапляють ті, що забезпечують краще виживання.

¹ Дарвін називав це перемогою в боротьбі за існування.

Дрейф генів і їхній потік можуть як сприяти, так і протидіяти адаптивній еволюції

Окрім «класичних» дарвінівських факторів, участь у еволюції беруть й інші. Одним із таких чинників є **дрейф генів** — випадкові зміни частоти зустрічності алелей у популяції. Через непрогнозовані зміни середовища, як-от стихійне лихо чи нерівномірне схрещування особин у популяції (не всі квітки на полі запилюються), якісь алелі (а, отже, і фенотипи, зумовлені ними) можуть із часом отримати перевагу, а якісь — зовсім зникати.

Припустімо, що в озері була популяція жаб, які мали різноманітне забарвлення тіла (рис. 2.2). Через посуху частина особин загинула, а вижити змогли лише одиниці, що переховувались у маленьких калюжах. Після сезону дощів озеро наповнилося водою, і популяція жаб відновила свою чисельність. Проте, як виявилось, різноманіття забарвлення шкіри в популяції значно зменшилося! Це було пов'язано зовсім не з тим, що жаби якогось певного кольору краще переносять посуху, а з випадковістю: усі особини, що вижили, виявилися зеленими. У сусідньому озері це могли б бути бурі жаби, а в іншому — жовті. При цьому в одному з озер домінантне положення міг посісти алель забарвлення, що робить жаб менш помітними для хижаків. У такому разі завдяки дрейфу генів жаби набули адаптації за кольором тіла.

Але якщо внаслідок дрейфу генів вимруть організми, що несуть корисний алель захисного забарвлення, то він повністю зникне з генофонду популяції. І адаптація за кольором тіла теж припинить своє існування. Отже, дрейф генів діятиме проти адаптивної еволюції.

Ще одним схожим фактором є **потік генів** — неспрямоване перенесення алелів з одних популяцій до других. Потік генів відбувався, наприклад, при поширенні стійкості комарів до фосфорорганічних інсектицидів¹. У 1960-х роках інсектициди ефективно вбивали комарів по усьому світу (рис. 2.3). Але в

якихось популяціях Азії чи Африки виникла мутація, що забезпечила комах захистом від цих убивчих речовин. Унаслідок штормів або мандрівок разом із людиною (у кораблях чи літаках) стійкі до інсектицидів комарі поширилися світом. Разом із ними до різних популяцій потрапив і ген стійкості. Оскільки цей ген дозволяв комахам виживати при контакті з фосфорорганічним інсектицидом, то особини, які його мали, переважно продовжували жити і, завдяки схрещуванням, передавали свою стійкість нащадкам. У результаті потоку генів і природного добору більшість комарів світу стала стійкою до цих смертельно отруйних



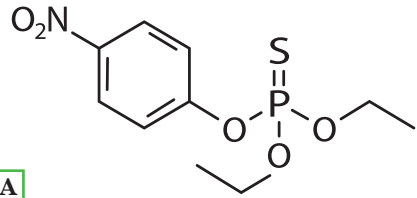
Рис. 2.2. Дрейф генів

Унаслідок випадкового виживання зелених жаб під час посухи, вони стали переважати в озерній популяції.

¹ Фосфорорганічні інсектициди (від. лат. *insectum* — комаха і *caedo* — вбиваю) — це фосфорормісні органічні речовини, що використовуються для знищення шкідливих комах.

речовин. Фактично потік генів відіграв роль мутагенезу, забезпечивши генофонди популяцій новими алелями, яких у ньому не існувало.

З іншого боку, потік генів може додавати до популяції й алелі, що протидіятимуть чи «викатимуть» корисні, які підвищують пристосованість. Або ж, навпаки, популяція втрачатиме носіїв корисних алелей через потік генів. В обох випадках потік генів протидіятиме адаптивній еволюції. Саме процес природного добору є єдиним еволюційним механізмом, що призводить до появи адаптацій.



А



Б

Рис. 2.3. Фосфорорганічні інсектициди
А. Паратіон — один із перших фосфорорганічних інсектицидів. **Б.** Обробка сільськогосподарського поля інсектицидом.

Появу навіть складних адаптацій можна пояснити поступовою дією природного добору

Однією з проблем теорії природного добору було пояснення механізму формування складних адаптацій. Річ у тім, що складна адаптація, як-от око чи мозок, не може з'явитися миттєво, за одне покоління. Але структура цього органу є настільки складною, що виникнення, наприклад, чверті ока чи лише однієї звивини мозку немає ніякого сенсу, бо таке пристосування не буде функціонувати, як єдиний орган. Дарвін не міг пояснити появу складних органів (ні по частинах, ні в цілому), але з часом еволюційні біологи розтлумачили механізми їхнього розвитку.

Виявилось, що складні адаптації розвиваються поступово, і при цьому їхні частини повноцінно функціонують та покращують пристосування організму до середовища. Так, наприклад, формування ока почалось із появи шару світлочутливих рецепторів у водних тварин, з якого згодом утворилася сітківка (рис. 2.4, А). За його наявності тварина могла легко визначати день чи ніч надворі, де поверхня водойми, а де дно. З часом світлочутливий шар прогнувся до середини, утворивши келихоподібне око (рис. 2.4, Б). Воно дає

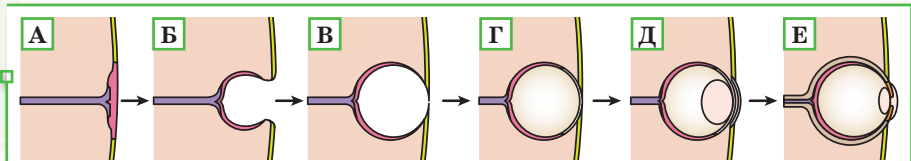
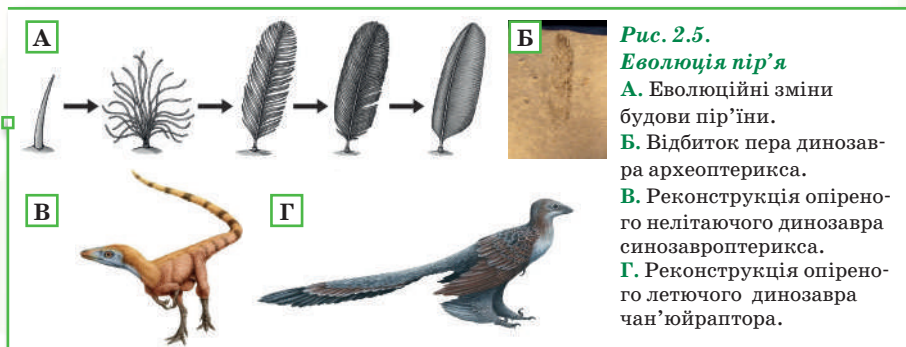


Рис. 2.4. Еволюція ока (пояснення в тексті)

зможу краще визначати напрямок, з якого падає світло. За певний проміжок часу отвір «келиха» звузився, що дало можливість чіткіше бачити об'єкт і визначити розташування джерела світла (рис. 2.4, В). На наступному етапі око заповнилось спеціальною прозорою рідиною, що підвищила захист світлочутливого шару, а також забезпечила сталий коефіцієнт заломлення, незалежний від складу води навколо (рис. 2.4, Г). Для фокусування, а, отже, і покращення чіткості зображення, що формується на світлочутливому шарі, в оці сформувалася лінза — кришталік (рис. 2.4, Д). Приблизно водночас з'явилися райдужка, що живить око й регулює діаметр отвору для світла — зіниці, та рогівка, що забезпечує додаткове світлозаломлення (рис. 2.4, Е). Поява кожної зі структур ока мала адаптивний характер і виникла завдяки природному добору. Тому можна стверджувати, що складні адаптації з'являються завдяки поступовому розвитку шляхом природного добору.

Преадаптація — це майбутня адаптація

Часто процес формування органів іде «хибним» шляхом, коли функція органу змінюється під час еволюції. Характерним прикладом такого шляху є формування пір'я в птахів. Доведено, що предками сучасних птахів були динозаври, що не вмiли літати. У попередників птахів у шкірі почали формуватися волосиноподібні «пір'їни» (рис. 2.5), основною функцією яких було збереження тепла, подібно до волосин нашої шкіри. Згодом перо розгалузилося й в нього з'явився стрижень. Таке пір'я, властиве нелітавшим динозаврам, почало виконувати, ймовірно, також і маскувальну функцію чи відігравати важливу роль у залицянні. У майбутньому будова опахала ускладнилася, а маса пера зменшилася, воно набуло вигідних аеродинамічних властивостей і почало брати участь у польоті. Отже, спочатку пір'я виконувало теплоізоляційну функцію, згодом маскувальну та шлюбну, і лише потім почало використовуватися для польоту. Тобто орган формувався для виконання однієї функції, а згодом почав виконувати іншу¹.



¹ Насправді, функція не змінилася, а додалася, бо й досі пір'я бере участь у теплоізоляції (недарма ж пухові куртки є найтеплішими), маскуванні (наприклад, біле пір'я в полярних сов) і шлюбному процесі (як-от хвостове пір'я в павича).

А іноді трапляється, що певна риса лише з появою нових вимог стає адаптацією. Так сталося з кістками черепа людини. Зі збільшенням розміру мозку предків сучасної людини матерям усе важче було народжувати немовлят через обмежений діаметр отвору між кістками тазу, який повинна пройти тепер велика головка плоду під час пологів. Для полегшення цього процесу ще незростлі кістки черепа плоду зміщуються, зменшуючи висоту голови для зменшення опору (рис. 2.6). Таке зміщення було б неможливим, якщо б череп був одним цілим чи його кістки нерухомо зросталися заздалегідь. Тобто незростлий стан і наявність окремих кісток черепа стали адаптацією до пологів у людини лише з формуванням великого мозку, і, внаслідок, великого черепа.

Подібні до викладених вище характеристики, що мають потенційно пристосувальне значення для ще неіснуючих форм взаємодії організму й середовища, називають **преадаптаціями**¹. У їхньому формуванні так само, як і у формуванні адаптацій, провідну роль відіграє природний добір.

А



Б

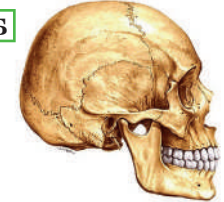


Рис. 2.6. Зміна форми черепа людини з віком

Череп немовляти (А) має витягнену форму, але меншу висоту, порівняно з черепом дорослої людини (Б), що полегшує проходження голови дитини статевими шляхами під час пологів.

Постадаптація робить адаптацію кращою

Формування адаптації не є кінцевим етапом її розвитку. У майбутньому на основі адаптацій можуть виникати постадаптації. **Постадаптація**² — це вдосконалена в процесі еволюції адаптація. Її формування відбувається в середовищі, до якого в організмі адаптація вже існує. Під час цього процесу вона змінюється так, що це перетворення покращує пристосованість організму до вимог довкілля. Зазвичай постадаптації мають прояв у незначних змінах уже виробленої адаптації: у потовщенні захисного шару корка в корі, у збільшенні виділення феромонів³ для приваблення статевих партнерів, у зміцненні стінки гнізда для кращого захисту пташенят тощо. За зміни умов середовища постадаптація може перетворитися на преадаптацію. Але, на відміну від останньої, постадаптація — це закономірний результат спрямованого еволюційного процесу на покращення пристосування, тоді як преадаптація виникає як випадковість: зручне пристосування до нових вимог. Так, у прикладі з пір'ям птахів, перехід від волосиноподібного пір'я до пір'я зі стрижнем і опахалом був постадаптацією з терморегуляційною функцією, яка стала преадаптацією до польотного пір'я.

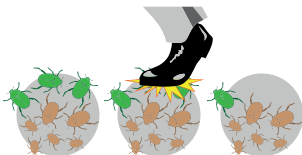
¹ Від лат. *prae* — перед чимось, попереду та *adaptio* — пристосування; також поширеним в еволюційній біології є термін екаптація.

² Від лат. *post* — після чогось, позаду та *adaptio*.

³ Феромони — легкі речовини, що виділяються організмами до зовнішнього середовища й беруть участь у хімічній комунікації між особинами одного виду.

Елементарно про життя

- 1. Унаслідок дії природного добору збільшується кількість тих організмів, які
А мають більше мутацій **Б** не мають мутацій
В переважно виживають **Г** розмножуються нестатевим
- 2. Увігнута форма світлосприймального шару ока є прикладом
А преадаптації **Б** постадаптації **В** дрейфу генів **Г** природного добору
- 3. Сергій та Олена висловили свої думки щодо походження пір'я птахів. Сергій вважає, що пір'я птахів розвинулося з волосся динозаврів. Олена впевнена, що пір'я сучасних птахів виникло завдяки природному добору. Хто з них має рацію?
А лише Сергій **Б** лише Олена
В обидвоє **Г** жоден
- 4. Який процес ілюструє наведене зображення?
А природний добір **Б** адаптацію
В потік генів **Г** дрейф генів
- 5. Який із наведених прикладів є преадаптацією?
А потові залози ссавців (з них виникли молочні залози)
Б очі рептилій (з них розвинулись очі ссавців)
В двокамерне серце риб (стало основою трикамерного серця амфібій)
Г оплодень (його структура різнилася в соковитих і сухих плодів)
- 6. Увідповідніть компонент ока людини та його функцію
- | | |
|-------------|---|
| 1 зіниця | А фокусування світла |
| 2 кришталік | Б живлення передньої частини ока |
| 3 райдужка | В регулювання кількості світла в оці |
| 4 сітківка | Г захист світлочутливого шару |
| | Д світлосприйняття |



У житті все просто

- 7. Скориставшись описом механізму реалізації природного добору, поясність, як у динозаврів сформувалося польотне пір'я.
- 8. Порівняйте у вигляді таблиці мутагенез і потік генів. Що є схожим і відмінним у цих процесах та їхньому внеску в еволюцію?
- 9. Чи може преадаптація стати джерелом постадаптації й навпаки?

У житті не все просто

- 10. Чи «знає» заздалегідь природа, якою буде адаптація в кінцевому результаті? А чи може людина спрогнозувати її приблизний вигляд? Що для цього потрібно знати?
- 11. Чи можна застосувати поняття «преадаптація» й «постадаптація» до науково-технічного прогресу? Доведіть свою точку зору на прикладі еволюції якогось пристрою.

§ 3. Стратегії адаптування

Організми обирають одну з трьох стратегій адаптування

Потрапляючи в «незвичні» для себе умови, організми певного виду починають виробляти нові адаптації чи покращувати вже існуючі, формуючи пост-адаптації. Учені виокремлюють три стратегії адаптування живих організмів.

Стратегія активного адаптування передбачає вироблення в організмі адаптацій, що протидіють новим умовам середовища. Ця стратегія властива утворенню більшості адаптацій. Таким шляхом, до прикладу, адаптувалися сукуленти — збірна група рослин, що здатні накопичувати воду в спеціальних тканинах (кактуси, молочаї, алое тощо). Сукуленти ростуть у спекотних і посушливих регіонах, тому виробили значну кількість адаптацій до таких умов (рис. 3.1). Завдяки товстій воскоподібній кутикулі та незначній кількості продихів зменшується втрата води через випаровування. Ба більше, продихи відкриваються лише вночі, коли прохолодно. Розвинена коренева система ефективно поглинає воду з поверхневого шару ґрунту одразу після дощу, доки та не встигла випаруватися, або, навпаки, заглиблюється аж до підземних водоносних шарів. Листки й стебло є м'ясистими, заповненими водянистими клітинами, що накопичують рідину. Отже, завдяки стратегії активного адаптування організми підвищують здатність до опору неоптимальним умовам середовища й забезпечують свою життєдіяльність за їхніх рахунок.

Стратегія пасивного адаптування полягає в підкоренні життя організму умовам середовища. Наприклад, окремі тварини впадають у сплячку в періоди нестачі харчів (ведмідь, їжак, тушканчик). Лишайники чи деякі нематоди здатні пережити відсутність вологи, впадаючи в анабіоз, коли в організмі майже повністю припиняються процеси життєдіяльності. Листопадні рослини на зиму скидають листя, щоб не засохнути й витримати вагу снігу на гілках. Тобто за пасивної стратегії організм ніби «переживає» негативний вплив середовища.

І, зрештою, **стратегія уникнення несприятливих умов** призводить до вироблення в організмів такої поведінки чи особливостей життєвого циклу, що дозволяють не потрапляти в небажані умови. Так степові

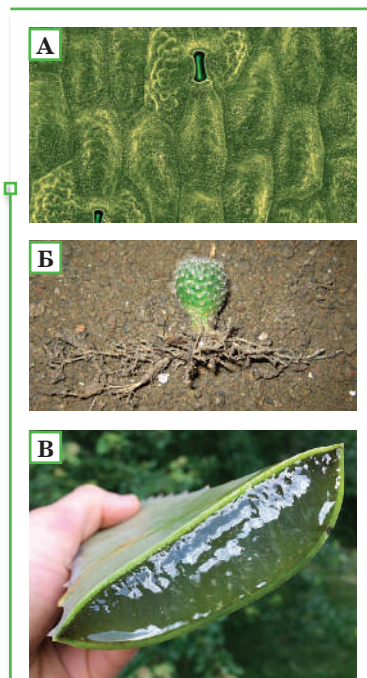


Рис. 3.1. Активні пристосування до посухи в сукулентів
А. Поверхня стебла кактуса-опунції з продихами. **Б.** Більшість кактусів має приповерхневу кореневу систему, що швидко всмоктує вологу роси, туману чи дощу. **В.** Листок алое заповнений водянистими клітинами.

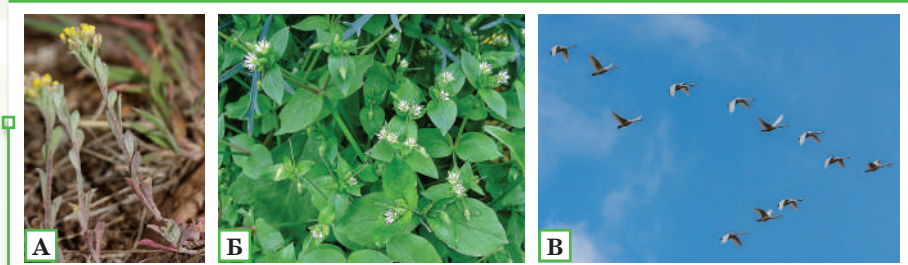


Рис. 3.2. Організми, що адаптувалися за стратегією уникнення несприятливих умов

А. Бурачок пустельний. **Б.** Зірочник середній (мокрець). **В.** Гусячий ключ.

й пустельні рослини-ефемери¹ проростають, відцвітають та гинуть у найсприятливішу для цього пору року (зазвичай навесні), коли в ґрунті є достатня кількість вологи (рис. 3.2, А, Б). У такий спосіб вони уникають літньої спеки й посухи. Завдяки цій же стратегії в перелітних птахів сформувалася адаптація покидати рідні краї перед настанням холодів (рис. 3.2, В).

Завдяки коадаптації органи ефективно співпрацюють

Для набуття організмом адаптації за будовою чи функціонуванням зазвичай потрібна зміна не одного органу, а одразу кількох. Наприклад, видовження шії жирафи в процесі адаптування до поїдання високо розташованих листків потребувало не лише видовження хребців шийного відділу хребта, але й видовження судин і нервів (рис. 3.3). Ба більше, тепер для піднімання крові високо вгору до мозку (довжина шії жирафи сягає 2 м) серце й судини повинні створювати більший тиск. А це означає, що і їхня будова теж має змінитися. Таке взаємне пристосування органів і їх частин для забезпечення життєдіяльності в нових умовах середовища називають коадаптацією.

Схожі приклади взаємоприсотування органів можна знайти в багатьох організмів (рис. 3.4). У птахів для польоту розвинулися потужні грудні м'язи, що кріпляться до особливого виросту грудини — кіля.

¹ Від грец. *efemeros* — одноденний.

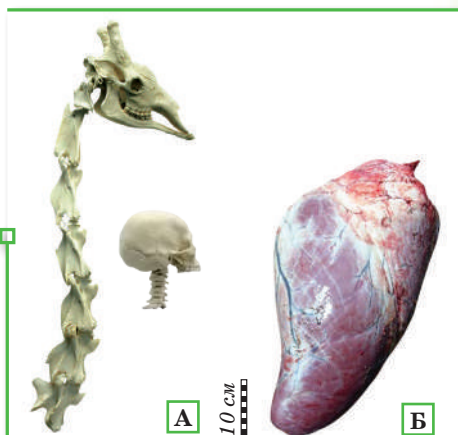


Рис. 3.3. Особливості анатомії жирафи

А. Шийні хребці жирафи мають значно більшу висоту (до 30 см) порівняно з хребцями людини (2-3 см). **Б.** Серце жирафи важить близько 11 кг, має довжину до 60 см, скорочується 150 разів на хвилину й створює артеріальний тиск у два рази вищий за людський.

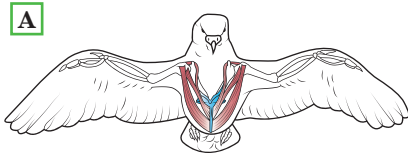


Рис. 3.4. Приклади коадаптацій

А. М'язи крил (червоним) для свого кріплення потребували розвитку великої поверхні груднини — кіля (синім). **Б.** Яскраві квіти каштана зібрані в суцвіття — китицю. **В.** М'язи-замикачі коадаптувалися зі стулками мушлі для ефективного захисту від хижаків.

У більшості трав'янистих рослин для приваблення комах квіти стали яскравими й пахучими, а також зібралися в суцвіття. У двостулкових молюсків одночасно з появою мушлі сформувалися м'язи-замикачі, що не дають змоги хижаків розкрити стулки.

Міжвидові коадаптації розвиваються в процесі коеволюції

Коадаптуватися можуть не лише органи, але й види, що входять до складу однієї екосистеми. За появи певної адаптивної зміни в популяції одного виду для популяції іншого, пов'язаного виду змінюються умови існування, тому він намагається пристосуватися. Наприклад, для того, щоб запилювачі перенесли пилок з однієї рослини на другу, у квітках з'явилися нектарники зі смачним наповненням і привабливим ароматом. Спеціалізуючись до запилення певним видом (або видами)

комахи чи птахів, квіти змінювали форму. У відповідь і запилювачі змінювали свою будову (рис. 3.5). Таким чином відбувалася коеволюція (спряжена еволюція) — процес формування коадаптацій, коли кілька видів здійснюють взаємний вплив на еволюцію одне одного. При цьому види, що взаємодіють у екосистемі, спрямовують природний добір у напрямку виживання й розмноження особин, найкраще пристосованих саме до співіснування.

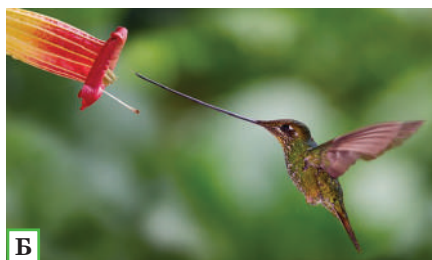


Рис. 3.5. Коадаптація до запилення

А. Тягнучись язиком до нектару на дні квітки, кажан притискається лобом до пилків і приймочки маточки квітки, що сприяє перенесенню її пилку. **Б.** Дзьоби колібрі відповідають формам квіток, нектаром яких вони харчуються.



Рис. 3.6. Коеволюція як «перегони озброєнь»

А. Забарвлення яєць зозулі (правий стовпчик) подібне до забарвлення яєць тих птахів, у чії гнізда вона підкидає яйця (лівий стовпчик). **Б.** Природний добір добирає тих газелей, які бігають найшвидше, унаслідок чого переважно виживають найстрімкіші леопарди. **В.** Завдяки особливій будові слизової оболонки губ і рота верблюди пристосувалися до поїдання навіть кактусів із великими колючками.

Схожі процеси коеволюції відбуваються не тільки між видами, яким це взаємовигідно (квітковим рослинам потрібно, щоб їх ефективно запилювали, відповідно запилювачі отримують за це поживний нектар), але й між паразитами та хазяями, хижаками та жертвами (рис. 3.6). У такому разі хазяї й жертви, намагаючись захиститися від паразитів і хижаків (чи тих, хто їх поїдає), виробляють адаптації, до яких згодом пристосовуються нащадки паразитів і хижаків, і починається нове коло коадаптацій. Така постійна коеволюція нагадує «перегони озброєнь» й отримала назву **принципу Чорної Королеви**¹: вид змушений постійно адаптуватися до змін, що виникають у середовищі, яке еволюціонує паралельно з ним.

Адаптивна радіація породжує різноманіття споріднених видів

Унаслідок адаптування зовнішній вигляд, фізіологічні процеси чи поведінка організмів стають іншими через накопичені зміни спадкового матеріалу. Отже, організми з новими адаптаціями відрізняться від предкових виглядом, процесами життєдіяльності, діями, геномом тощо². Тобто вони належатимуть новому, відмінному від початкового, біологічному видові.

¹ Назва принципу має витоки у творі Льюїса Керрола «Аліса в Задзеркаллі», де Чорна Королева говорила: «...у нас, як бачиш, біжиш мов ошпарений, аби тільки втриматися на місці».

² Риси подібності організмів одного виду називають критеріями виду. За цими критеріями всі особини одного виду є схожими.

Якщо вихідний вид (чи група видів) потрапляє до середовища із різноманітними умовами (наприклад, із різним типом їжі чи рельєфом), то до будь-якого набору умов він адаптуватиметься інакше. А це означає, що в кожному з них виникне власний новий вид зі своїм набором адаптацій. Такий процес швидкого утворення різноманітних за пристосуваннями споріднених видів унаслідок адаптації до різних за набором умов середовищ має назву **адаптивна радіація**¹.

Завдяки адаптивній радіації швидко утворюються нові групи видів

Адаптивна радіація відбувається досить швидко за еволюційними мірками (тисячі — мільйони років) й лише за наявності різноманіття умов середовища. Яскравим прикладом адаптивної радіації є розвиток плацентарних ссавців (рис. 3.7, А). Перші їхні представники з'явилися близько 160 млн років тому, але аж до 66 млн років тому були представлені незначною кількістю видів. Річ у тім, що у фауні Мезозойської ери домінували динозаври та їхні родичі. Після їх вимирання наприкінці Крейдяного періоду розпочалася адаптивна радіація плацентарних ссавців, які освоїли всі куточки середовищ із різноманітними умовами, які до того були зайняті рептиліями. Такі ж масштабні радіації спостерігалися й після появи фотосинтезувальних прокариотів, виходу рослин на суходіл, появи комах тощо.

Швидші й менші за масштабом адаптивні радіації відбувалися під час заселення спорідненими групами організмів нових ізольованих місцевостей. Гарним прикладом такого розвитку є Дарвінові в'юрки² — група горобцеподібних птахів, що населяють острови Галапагоського архіпелагу (рис. 3.7, Б). Предок в'юрків заселив острови архіпелагу приблизно 3 млн років тому. Далі в процесі адаптування до різного типу їжі змінилася форма дзьоба птахів: у тих, що розколюють насіння, дзьоб став широким, у тих, що ловлять комах — коротким і загостреним на кінці, а в тих, що поїдають пилок і нектар квіток кактусів — довгим.

Іншим цікавим прикладом є адаптивна радіація цихлід озера Вікторія (рис. 3.7, В). Це озеро, розташоване між Танзанією, Угандою й Кенією, є найбільшим у Африці, й у ньому мешкають понад 500 видів риб цихлід. Така велика площа озера забезпечила значне різноманіття умов уздовж берегової лінії, на дні й на різній глибині. Завдяки цьому різноманіттю умов і слабкій конкуренції з боку інших видів риб, адаптивна радіація цихлід мала вибуховий характер, і більшість сучасних видів утворилася лише протягом останніх 15 тисяч років! Основним напрямком адаптивної радіації риб, подібно до галапагоських в'юрків, було пристосування до різних типів їжі. Нині у фауні озера виокремлюють 16 різних груп цихлід, що відрізняються харчовими вподобаннями: хтось обгризає водорості з каміння, хтось харчується зоопланктоном,

¹ Від лат. *radiatio* — випромінювання.

² Насправді, ці птахи належать до родини Танагрові (*Thraupidae*), а не родини В'юркові (*Fringillidae*). Тобто, по суті, вони не є в'юрками.

комусь до впадоби молюски, комусь комахи чи креветки, а хтось полює на інших риб, їхню ікру чи просто обгризає луску жертв. Цікаво те, що цихліди поширені в озері нерівномірно й існують відокремлені прибережні екосистеми, де різноманіття видів дуже велике. Зазвичай цихліди з однієї екосистеми не перепливають до сусідньої, що фактично створює «острови життя» в озері, еволюція в яких відбувається незалежно від еволюції в інших.

Адаптивна радіація характерна і для рослин. Яскравим її прикладом є поява рослин групи срібних мечів¹, що ростуть на високогір'ї Гавайських островів (рис. 3.7, Г). Усі 50 видів цих рослин походять від одного материкового предка й виникли протягом останніх 5,2 млн років. Через значне різноманіття умов на високогір'ї срібним мечам характерні навіть різні життєві форми: серед них є різного виду трави, кущі, ліани й дерева. Таким чином, адаптивна радіація притаманна організмам різних систематичних груп.

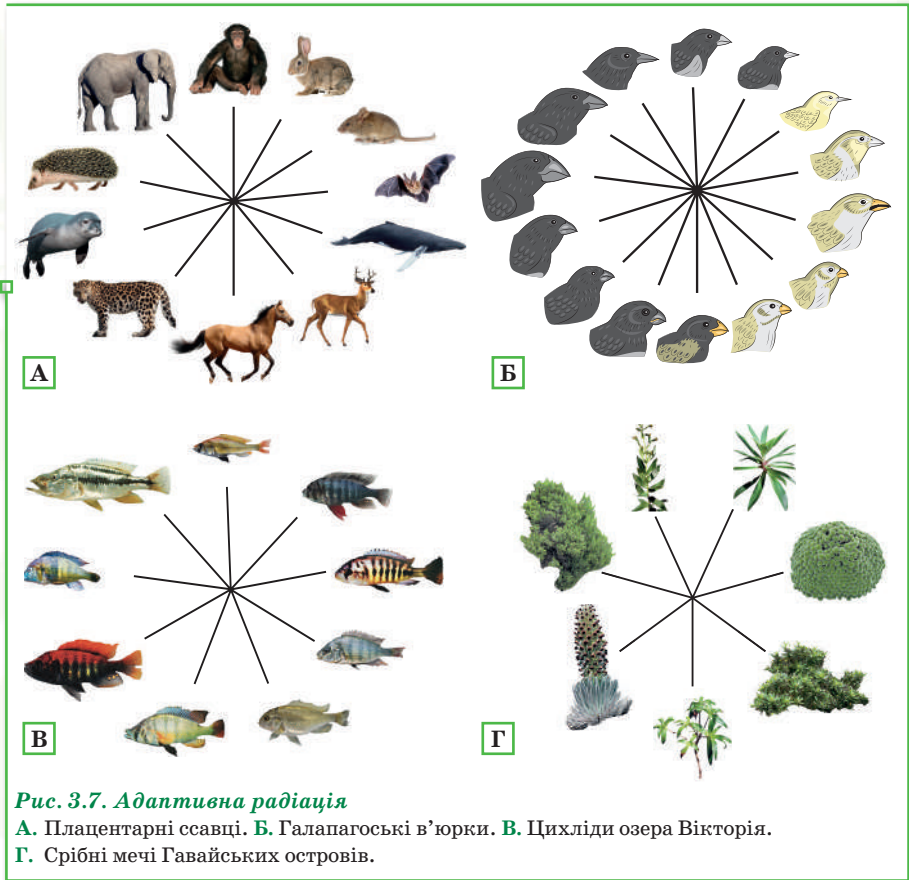


Рис. 3.7. Адаптивна радіація

А. Плацентарні ссавці. **Б.** Галапагоські в'юрки. **В.** Цихліди озера Вікторія.
Г. Срібні мечі Гавайських островів.

¹ Ці рослини названі так через сріблястий колір, гострий край і форму своїх листків.

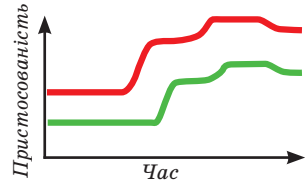
Елементарно про життя

■ 1. Акули здатні відчувати наявність крові у воді на відстані в кілька кілометрів. Ця риса виникла завдяки

А стратегії активного адаптування **Б** стратегії пасивного адаптування
В стратегії уникнення несприятливих умов **Г** коеволуції

■ 2. На графіку зображено зміну пристосувального значення ознаки для двох видів із часом. Який процес ілюструє графік?

А дрейф генів **Б** коеволуцію
В адаптування шляхом уникнення несприятливих умов
Г адаптивну радіацію двох видів



■ 3. Заповніть пропуски в реченні.

Необхідною умовою (1) є взаємодія видів у межах однієї (2).

А 1 – коадаптації, 2 – популяції **Б** 1 – коеволуції, 2 – екосистеми

В 1 – преадаптації, 2 – популяції **Г** 1 – адаптації, 2 – екосистеми

■ 4. Зазначте НЕправильне твердження щодо адаптивної радіації.

А характерна лише багатоклітинним організмам

Б триває тисячі – мільйони років **В** утворені види споріднені між собою

Г відбувається в середовищі з різними комбінаціями умов

■ 5. У відповідність стратегію адаптування та її приклад.

- | | |
|---|---|
| 1 активне адаптування | А відмирання бактерій під час стерилізації за високих температур |
| 2 активне адаптування | Б утворення хобота в слона |
| 3 адаптування уникненням несприятливих умов | В перехід узимку дощових черв'яків у малоактивний стан |
| | Г міграція метеликів данаїд на південь восени |

У житті все просто

■ 6. Як проявляється принцип Чорної Королеви в економічній конкуренції виробників подібних товарів? Проілюструйте це за допомогою розвитку галузі мобільних телефонів.

■ 7. На *рисунку 3.7, Б* визначте тип харчування різних в'юрків. Які коадаптації до форми дзьоба могли виникнути в птахів із різною харчовою базою?

■ 8. Чому локальна адаптивна радіація відбувається лише у відносно ізольованих місцевостях? Чому вона неможлива там, де є щільний контакт із подібними, більш розвиненими екосистемами?

У житті не все просто

■ 9. У яких галузях людського життя можна простежити «адаптивну радіацію»? Чи є якісь принципові відмінності між цими процесами й біологічною адаптивною радіацією?

§ 4. Молекулярні та клітинні адаптації

Адаптації усіх рівнів організації живого ґрунтуються на змінах молекулярного рівня

Більшість розглянутих нами в попередніх параграфах прикладів адаптацій були пов'язані з пристосуваннями організмозового рівня. Але всі вони мають своє «коріння» на молекулярному рівні, оскільки основним матеріалом еволюції є саме спадкова мінливість, що виникає внаслідок змін генетичного матеріалу. Тобто, на якому б із рівнів організації живого адаптація не мала вияв, еволюція фіксуватиме її саме на молекулярному. З огляду на це власне молекулярні та клітинні адаптації заслуговують більш детального розгляду.

Гени стійкості до антибіотиків дозволяють бактеріям уникати знищення

Більшість бактерій ґрунту харчується сапротрофно — рештками живих організмів, розкладаючи їх до неорганічних речовин. Але в цьому вони не єдині: те ж саме властиве й грибам. Наявність спільної харчової бази призводить до появи конкуренції між різними видами бактерій, а також між бактеріями й грибами. Одним із її наслідків є вироблення ними спеціальних речовин, що здатні вбивати інші бактерії — антибіотиків (рис. 4.1, А). Логічно, що бактерії намагаються захиститися від цих речовин: бактерії-жертви, щоб не програти в конкурентній боротьбі, а бактерії-виробники, щоб не загинути від своєї ж зброї. Адаптуючись до середовища з антибіотиками, вони виробили спеціальні ферменти, що здатні їх розщеплювати (рис. 4.1, Б).

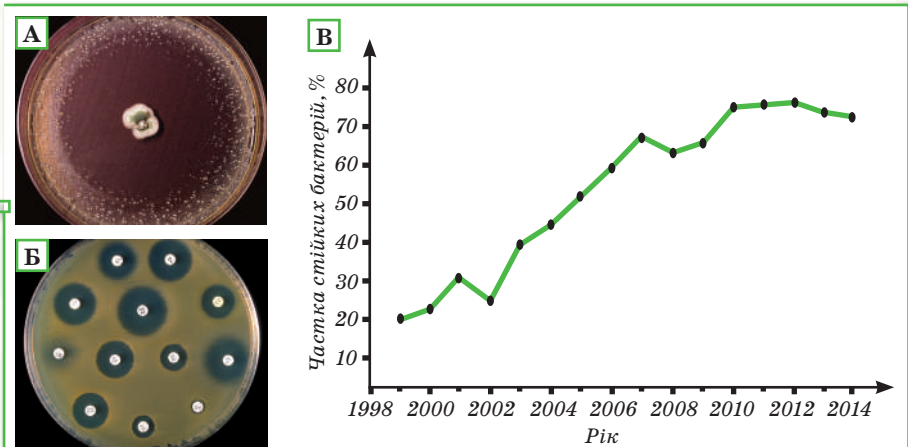


Рис. 4.1. Стійкість бактерій до антибіотиків

А. Колонія пліснявого гриба пеніцилу виділяє антибіотик до середовища, який спричиняє загибель бактерій: утворюється вільне від них кільце навколо колонії. Б. Різні антибіотики, якими просочені білі папірці, з різною ефективністю діють на одну й ту ж бактерію, що утворила жовтувату поволочку на поверхні поживного середовища. В. Зміна кількості стійких до антибіотика бактерій-сальмонел із часом.

Із середини ХХ ст. людство почало активно використовувати антибіотики для лікування й профілактики бактеріальних інфекцій у медицині та ветеринарії. Унаслідок цього значна кількість цих речовин почала потрапляти в довкілля. Ті бактерії, що мали гени ферментів стійкості до антибіотиків, почали переважно виживати, тобто відбиралися природним добором. Тому поступово ці гени поширювалися в популяціях (оскільки їх носіїв ставало все більше), а завдяки горизонтальному перенесенню генів¹ — і між видами. У результаті значна кількість бактерій набула стійкості до антибіотиків (рис. 4.1, В). Отже, вилікувати інфекції, спричинені такими стійкими до антибіотиків бактеріями, стало значно складніше, і смертність від них, на жаль, зростає.

Білки-кристаліни очей різних тварин виконують однакову функцію, але мають відмінне походження

Як вам уже відомо, для того, щоб краще фокусувати промені світла в оці, у процесі еволюції виникла лінза — кришталік. Для ефективного функціонування він повинен бути заповнений прозорою речовиною, що має світлозаломлювальні властивості. У різних групах тварин кришталік утворюють глобулярні білки² — кристаліни, що мають неоднакове походження (табл. 4.1). А у вимерлих членистоногих трилобітів (рис. 4.2) кришталік узагалі було побудовано із неорганічного мінералу — кальциту (основою якого є кальцій карбонат)! Тобто у тварин різних груп адаптація до фокусування світла сформувалася на основі відмінних молекул, що яскраво свідчить про «винахідливість» (чи випадковість?) процесу еволюції.

Таблиця 4.1. Матеріал кришталіка тварин і його походження

Організми	Матеріал кришталіка	Речовина, від якої походить матеріал
Більшість хребетних	α-кристалін	Білки теплового шоку
Деякі землерийки	η-кристалін	Фермент ретинальдегідрогеназа (бере участь у світлосприйнятті)
Більшість птахів і рептилій	δ-кристалін	Фермент аргініносукцинатліаза (працює в печінці в циклі утворення сечовини)
Деякі птахи та крокодили	ε-кристалін	Фермент лактатдегідрогеназа В (фермент молочнокислого бродіння)
Головоногі молюски	S-кристалін	Фермент глутатіон-S-трансфераза (фермент антиоксидантного захисту організму)
Гребінці	Ω-кристалін	Фермент алкогольдегідрогеназа (окиснює спирти до альдегідів)
Трилобіти	мінерал кальцит	—————

¹ Тобто перенесення генів не від батьків до дітей (вертикально), а між неспорідненими організмами й видами (горизонтально).

² Молекули цих білків мають сферичну форму.

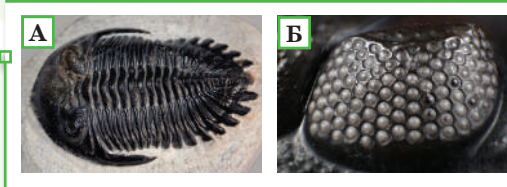


Рис. 4.2. Трилобіти та їх очі

А. Скам'янілий панцир трилобіта, вимерлого близько 380 млн років тому. **Б.** Скам'янілі рештки вказують на те, що око трилобіта було складним фасетковим, а кожна фасетка мала свою лінзу з кальциту.

Адаптації клітинного рівня мають прояв у специфічних клітинних структурах і формі клітини

Простим зразком специфічної клітинної адаптації є будова клітинної стінки клітин склеренхіми. Ця тканина належить до групи механічних тканин рослин, основною функцією яких є опора й захист. Клітини склеренхіми (рис. 4.3) розташовуються в деревині й лубі кори. Їхня клітинна стінка потовщується настільки, що обмін речовинами між цитоплазмою й зовнішнім середовищем стає неможливим, а живий уміст відмирає. Зате товста, багата на лігнін і целюлозу клітинна стінка забезпечує опору й міцність тканині, а з нею й різним органам рослин. Наприклад, саме ці клітини відповідальні за міцність деревини, без якої важко уявити собі сучасний побут людини. Крім того, клітинні стінки клітин склеренхіми є основним джерелом волокон целюлози, з яких виготовлено папір, на якому надруковано ці літери.

Ще одним доречним прикладом адаптації на клітинному рівні є втрата ядра та мітохондрій еритроцитами ссавців. Унаслідок цього еритроцит набуває дископодібної двоввігнутої форми (рис. 4.4, А), що дозволяє кисню краще проходити до середини цитоплазми й сполучатися з гемоглобіном¹. Крім

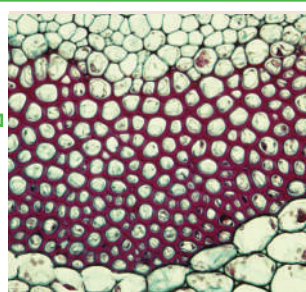


Рис. 4.3. Клітини склеренхіми

Після зафарбовування на поперечному зрізі стебла соняшника клітини склеренхіми вирізняються товстими рожевими клітинними стінками.

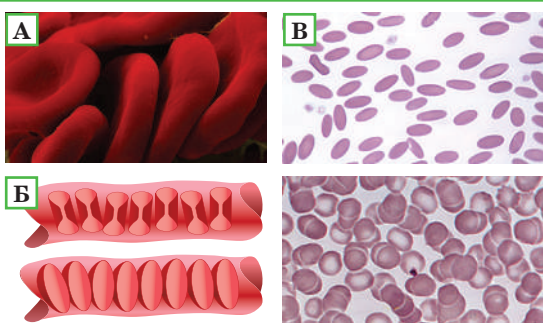


Рис. 4.4. Адаптації в будові еритроцитів

А. Еритроцити людини мають дископодібну двоввігнуту форму. **Б.** Дископодібна форма еритроцитів покращує ефективність їх транспортування кров'ю порівняно зі сферичною формою. **В.** Еритроцити верблюда (вгорі) мають овальну форму, на відміну від еритроцитів людини (знизу).

¹ Двоввігнута форма скорочує відстань між поверхнею еритроцита й найглибше розташованою точкою в середині, порівняно зі сферичною (там ця відстань дорівнює радіусу), тому дифузія газів із плазми крові до середини еритроцита відбувається швидше.

того, дископодібна форма покращує ефективність руху еритроцитів вузькими капілярами (рис. 4.4, Б).

Утім представники родини Верблюдові (верблюди, ламы та вікуньї) мають не заокруглі еритроцити, а дрібні овальні (рис. 4.4, В). Така форма клітин є адаптацією до зневоднення організму, від якого часто потерпають представники цієї родини. У потоці крові овальні еритроцити повертаються довгою віссю вздовж напрямку течії, що дозволяє легко долати найдрібніші капіляри, не закубуючи їх, навіть за умов загущення крові під час зневоднення. Отже, елементи будови компонентів і навіть форма клітин мають адаптивне значення.

Точкові мутації можуть призводити до появи адаптації

Одним із механізмів появи молекулярних адаптацій є точкові мутації. Нагадаймо, що внаслідок точкової (генної) мутації одна нітрогеновмісна основа в ланцюзі ДНК чи РНК замінюється на іншу, видаляється з ланцюга чи додається до нього. У результаті змінюється нуклеотидна послідовність ДНК. І якщо мутація відбулася в кодувальній частині гена, то вона може спричинити зміну амінокислотної послідовності білка. Білок із такою зміною набуде іншої просторової форми. За умови, що новий білок сприятиме виживанню й розмноженню особини, такий алель буде відібрано природним добром і з часом поширено популяцією.

Так сталося, наприклад, із гемоглобіном S, наявність алеля якого спричиняє серпуватоклітинну анемію. За цієї хвороби частина еритроцитів людини набуває серпуватої форми й гине швидше за звичайні. Утім у регіонах, де поширена малярія, швидка загибель серпуватих еритроцитів має адаптивне значення, оскільки блокує розвиток малярійних плазмодіїв усередині еритроцитів і забезпечує краще виживання. Ген гемоглобіну S¹ відрізняється від гена звичайного гемоглобіну А лише одним нуклеотидом (рис. 4.5). Такої заміни достатньо для того, щоб у шостому положенні білка розташувався залишок валіну замість залишку глутамінової кислоти. Тобто за умов поширення малярії заміни лише одного нуклеотиду в ДНК гена гемоглобіну було достатньо для набуття нової адаптації.

¹ Гемоглобін — це білок, що складається з чотирьох субодиниць: двох α -ланцюгів і двох β -ланцюгів. Йдеться про алель β -ланцюга гемоглобіну.

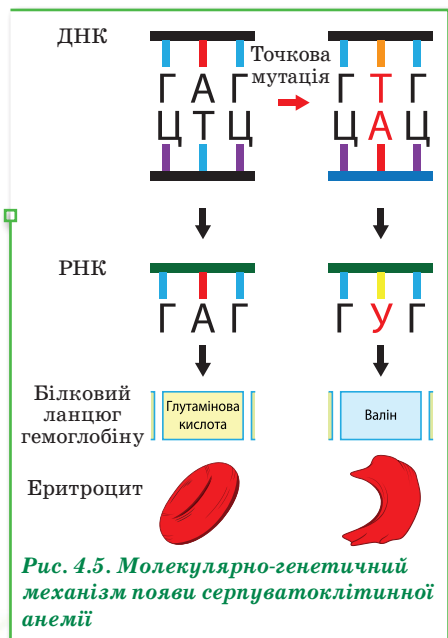


Рис. 4.5. Молекулярно-генетичний механізм появи серпуватоклітинної анемії

Молекулярні адаптації можуть виникати завдяки дуплікаціям генів

Часто для утворення нової адаптації потрібна нова копія гена, яка накопичуватиме зміни. Річ у тім, що мутації оригінального гена часто мають негативні наслідки або взагалі їх не мають. Так стається тому, що важко однією зміною нуклеотиду покращити добре налагоджений механізм функціонування клітин, органів й організму. Нерідко така зміна щось «зламає»¹, і виживання організму погіршиться. А подекуди вона не буде мати ніякого значення, бо не проявиться у фенотипі (мовчазна мутація), або не змінить його принципово (наприклад, одна коротка неполярна амінокислота буде замінена подібною короткою й неполярною). Тому для «експериментування» еволюції потрібна копія гена. Вона може виникнути завдяки хромосомній мутації — дуплікації.

Саме ця мутація, разом із низкою інших мутацій, що відбулися згодом, відповідальна за наше чудове кольорове бачення. Більшість ссавців у колбочках сітківки ока мають два типи відповідальних за колір фотопігментів. Основними їхніми компонентами є фотопсини — білки колбочок, що беруть участь у світлосприйнятті. Один із фотопсинів («синій») входить до складу пігменту, що реагує на світло з короткими довжинами хвиль, а інший — «червоний» — із довгими. Натомість у приматів Африки й Азії таких фотопсинів три: їм характерний іще один — «зелений» фотопсин, що потрібен для сприйняття світла зі середньою довжиною хвилі (рис. 4.6, А). Виявляється, що ген «зеленого» фотопсину виник унаслідок дуплікації гена «червоного» в предка приматів. Згодом три точкові мутації спричинили зміну послідовності амінокислот у білку, через яку виник зсув спектра світлосприйняття в бік менших довжин хвиль. Поява трьох фотопсинів забезпечила мавпам можливість краще розрізняти кольори, що, своєю чергою, дозволило їм легше знаходити зрілі плоди за денного світла (рис. 4.6, Б). Завдяки цьому мавпи з трьохкомпонентним кольоровим зором краще виживали й розмножувалися (бо були ситіші), почали переважати в популяції та дали початок іншим приматам і людині. Тобто досконаліший зір значно покращив їхню пристосованість до умов довкілля.



¹ Це як покращувати мотор автомобіля молотком: імовірність того, що після удару молотком по багатоконтактному моторові його функціонування покращиться, набагато менша ніж, що воно погіршиться. Простіше кажучи: ламати легше, ніж будувати.

Клітинний компас бактерій

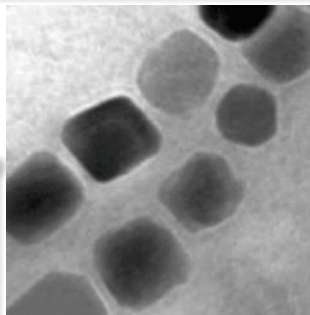
Деякі бактерії володіють «п'ятим чуттям» і здатні орієнтуватися за силовими лініями магнітного поля Землі завдяки спеціальним мембранним структурам — магнетосомам. Магнетосоми є мембранними міхурцями, у середині яких міститься кристал із феромагнітних речовин магнетиту (Fe_3O_4) чи грейгіту (Fe_3S_4). Ці кристали мають розмір від 35 до 120 нм. Якщо б вони були меншими, то не могли б створити достатній магнітний момент для спрямування клітини вздовж лінії магнітного поля. Крім того, інші за розміром кристали втрачали б постійну намагніченість і не функціонували б належним чином.

Магнітні кристали утворюються завдяки білкам, розташованим у мембрані магнетосоми. І, на відміну від штучно синтезованих, володіють надзвичайною чистотою, ідеальною формою і приблизно однаковим розміром, що дозволяє застосовувати бактерії, магнітосоми чи самі кристали як точні мініатюрні магніти. Також штучне позаклітинне використання бактеріальних білків, відповідальних за синтез магнітних кристалів, дало змогу отримати високоякісні магнітні мікрочастинки.

Бактерії, що орієнтуються за магнітним полем, володіють здатністю до магнетотаксису — руху вздовж силових магнітних ліній — завдяки специфічному розташуванню магнетосом. Вони розташовуються одна за одною у вигляді ланцюжка, що тягнеться вздовж найдовшої осі клітини (див. рис.). Таке розміщення забезпечує додавання магнітних векторів кристалів, і бактерія стає поляризованою щодо магнітного поля Землі. Фактично всередині клітини виникає стрілка компаса, спрямована від одного з магнітних полюсів Землі до іншого. І тепер бактерії залишається лише крутити джгутиками, щоб рухатися вздовж магнітної лінії. Завдяки наявності «магнетосомного стрижня» броунівські (теплові) рухи більше не можуть збити бактерію з наміченого шляху!

А пливе магніточутлива бактерія до місця, де менше кисню. Оскільки магнітні лінії спрямовані під кутом до поверхні Землі, то бактерія ніби «сповзає» уздовж лінії, аж поки не знайде такий шар водойми чи мулу на дні, де концентрація кисню буде якнайкраще відповідати її «бажанням». І там залишиться жити.

Вивчивши це, винахідливі вчені змусили магніточутливі бактерії «танцювати під їхню дудку» разом із собою!



Елементарно про життя

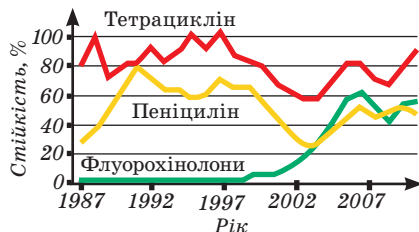
■ 1. Розгляньте графік зміни стійкості до різних антибіотиків збудника гонореї. Зазначте правильне твердження.

A стійкість збудника до всіх антибіотиків постійно зростає, починаючи з 2002 року

B чим вища стійкість до пеніциліну, тим вона вища й до тетрацикліну

B зі збільшенням стійкості до антибіотиків кількість хворих на гонорею збільшилась

Г стійкість збудника до флуорохінолонів зросла більше ніж у десять разів за останні 10 років



■ 2. Який вплив має видалення ядра з еритроцита у ссавців?

A збільшує об'єм клітини

B зменшує площу поверхні клітини

B покращує зв'язування кисню з гемоглобіном

Г погіршує рух еритроцитів судинами організму

■ 3. Увідповідніть фотопігмент із довжинами хвиль видимого світла, які він найкраще поглинає, та твариною, для якої він характерний.

1 «синій» фотопігмент

A короткі, собака

B середні, горила

2 «зелений» фотопігмент

B довгі, олень

Г середні, кішка

3 «червоний» фотопігмент

У житті все просто

■ 4. Використавши *рисунок 4.5* і свої знання з інформатики (порадьтеся із учителем/вчителькою цього предмета за потреби), складіть максимально детальний алгоритм розвитку серпуватоклітинної анемії.

■ 5. Доведіть точку зору про те, що основою адаптації організмового рівня є зміни на молекулярному.

У житті не все просто

■ 6. Які заходи вживаються для зменшення кількості антибіотиків, що потраплять до навколишнього середовища? Оцініть їхню ефективність.

Проект для дружньої компанії

■ 7. Виготовлення моделей еритроцитів різної форми у судині.

1) Змодельуйте судину прозорою порожньою ємністю, сферичні еритроцити — нееластичними кульками, а дископодібні еритроцити — циліндрами, того ж діаметру що й кульки, але у 4 рази меншої висоти.

2) Максимально щільно помістіть кульки і циліндри у ємність. Чого вмістилося більше? Чому?

3) Використайте вашу модель для допомоги вчителю чи вчительці під час пояснення будови еритроцитів людини на уроці біології у 8-му класі.

§ 5. Екологічна ніша

Сукупність адаптацій організму визначає його екологічну нішу

Наявність адаптацій забезпечує організму виживання лише за визначених умов довкілля. Як вам відомо, будь-які впливи середовища на організм називають екологічними факторами. Отже, всяка адаптація ефективна лише у визначених межах впливу екологічних факторів. Наприклад, кенгуру, пристосований до спекотного клімату, не зможе існувати в морозних умовах Арктики, тоді як полярна сова точно не витримає австралійської спеки. Така сукупність екологічних факторів (умов довкілля), за яких популяція організмів певного виду в складі екосистеми може існувати необмежено довго, отримала назву **екологічна ніша**. Екологічна ніша — це не лише вимоги окремого виду до умов неживої природи — абіотичних факторів (температури, тиску, хімічного складу середовища, вологості тощо), а також це взаємодії з живим оточенням (біотичні фактори): хто полюватиме на представників виду й кого вони поїдатимуть, із ким конкуруватимуть тощо. Усі зв'язки популяції виду з популяціями інших видів у екосистемі, а також впливи на неї з боку неживого середовища й визначають екологічну нішу. Тобто це поняття поєднує в собі як просторове розміщення виду, так і його функціональну роль в угрупованні живих організмів екосистеми. Тому говорять, що екологічна ніша — це умовне місце, яке займає вид в екосистемі, його «фах». Екологічна ніша окремої людини в суспільстві — це її рід занять, інтереси, коло знайомств, а також умови, за яких особа існуватиме.

Екологічну нішу можна схарактеризувати графічно. Якщо на осях відкласти межі витривалості за екологічними факторами, то отримана багатовимірна фігура й ілюструватиме екологічну нішу виду в екосистемі (рис. 5.1).

Ширина екологічної ніші залежить від екологічної пластичності виду

Основним параметром екологічної ніші є її ширина за тим чи тим екологічним фактором. Ця характеристика визначає різницю між мінімальним і максимальним значеннями екологічного фактора, за яких виживає вид — його межі витривалості. Виявилось, що для одних організмів згадані межі є досить широкими, а для інших — доволі вузькими. Види, що мають широкі межі витривалості, називають **екологічно пластичними**, а ті,

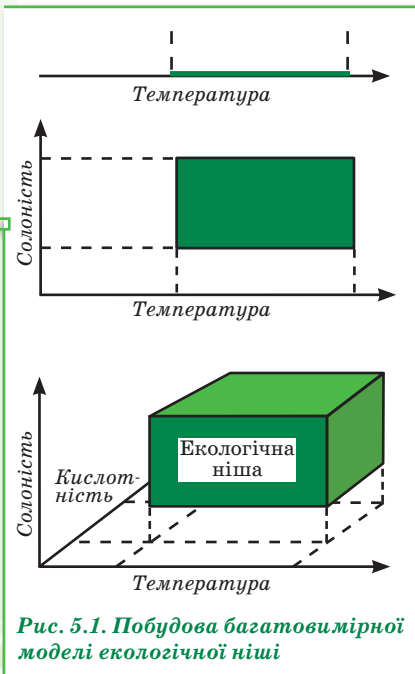


Рис. 5.1. Побудова багатовимірної моделі екологічної ніші

що вузькі — **екологічно непластичними**¹. Екологічно пластичні види легко витримують значні зміни умов середовища. Наприклад, песець (рис. 5.2, А) має дуже широкі межі витривалості за температурою: він здатний переносити зміну температури до 85 °С (від -55 до +30 °С). А от риби Амазонки (рис. 5.2, Б) дуже чутливі до температурних змін: похолодання води лише на 5 °С спричиняє малоактивність, небажання їсти, загальмованість реакцій. Тому можна стверджувати, що ці риби — екологічно непластичні. Пластичність характерна не тільки відносно абіотичних факторів, але й біотичних. Загальновідомим є той факт, що коала живиться винятково листям евкالیпта, тому є непластичним видом щодо типу харчування (рис. 5.2, В). А от усеїдний бурий ведмідь є екологічно пластичним видом: він може ласувати як рослиною, так і тваринною їжею (рис. 5.2, Г).

Але варто пам'ятати, що екологічна пластичність чи непластичність за одним фактором, не означає таку ж властивість за другим. На відміну від непластичності щодо їжі, коала є екологічно пластичним видом відносно кліматичних умов і добре витримує як тропічний клімат, так і прохолодні умови помірною. Важливо також зазначити, що екологічна непластичність не є недоліком. В умовах конкуренції між видами (див. нижче) екологічно непластичні види мають перевагу над екологічно пластичними. Це відбувається тому, що в процесі еволюційного розвитку непластичних видів вони «прагнули» максимально ефективно пристосуватися до визначених умов, тоді як пластичні види «витрачали зусилля» для підтримання здатності виживати в різних умовах.

Високий адаптивний потенціал забезпечує швидку адаптацію організмів до нових умов довкілля

Здатність представників виду пристосовуватися до мінливих умов довкілля визначає його **адаптивний потенціал**. Чим краще й швидше вид пристосовується до нових умов навколишнього середовища, тим вищий його потенціал.

¹ У зарубіжній науковій літературі екологічно пластичні види називають генералістами (від англ. *general* — загальний), а непластичні — спеціалістами (від англ. *special* — особливий), що добре розкриває широту пристосованості таких організмів.



Рис. 5.2. Види з різною екологічною пластичністю

- А.** Песець.
- Б.** Амазонська риба дискус.
- В.** Коала.
- Г.** Бурий ведмідь.

А оскільки більш екологічно пластичні види краще пристосовуються до нових умов, то вони характеризуються вищим адаптивним потенціалом. Це зумовлено наявністю в їхньому геномі алелей, що забезпечують виживання за відмінних від звичних умов. Завдяки цим алелям вони ніби заздалегідь готові адаптуватися до нових умов. Також види, у яких є ширша норма реакції¹, тобто більше варіантів однієї ознаки в популяції, мають кращий адаптивний потенціал. Така норма реакції свідчить про значну «пластичність» фенотипу, тобто здатність генотипу по-іншому проявлятися в нових умовах.

Адаптивний потенціал має велике значення в сільському господарстві. Сорти рослин і породи тварин повинні мати якомога більший адаптивний потенціал. Тоді за зміни умов (нестачі якогось хімічного елемента в ґрунті, спалаху інфекції, екстремальної спеки, посухи тощо) втрати сільського господарства будуть меншими. Крім того, доведено, що адаптивний потенціал невеликих популяцій значно менший, ніж великих. Тому зменшення чисельності популяції нижче певної межі спричиняє таке зниження потенціалу, що за мінливих умов (як-от зміна клімату) популяція гине.

Конкуренція між видами спричиняє звуження екологічної ніші

Кількість ресурсів у межах однієї екосистеми є обмеженою. Тому, якщо кілька видів починають використовувати один і той же ресурс (наприклад, полюють на однакових жертв чи потребують вологи з ґрунту для росту), то між ними виникає конкуренція. У результаті конкуренції обом видам починає не вистачати ресурсу. Як наслідок, його нестача (екологічного фактора) спричиняє звуження ширини екологічної ніші. І навпаки: за відсутності конкуренції за ресурс екологічна ніша збільшується (рис. 5.3).

Принцип конкурентного виключення обмежує кількість видів у екологічній ніші одним

Ще одним параметром екологічної ніші є ступінь її перекриття з екологічними нішами інших видів. Він залежить від того, наскільки вони є схожими. Чим сильніше перекриваються екологічні ніші, тим більш

¹ Норма реакції — це ширина варіювання ознаки в популяції (довжини, розміри, форми тощо).

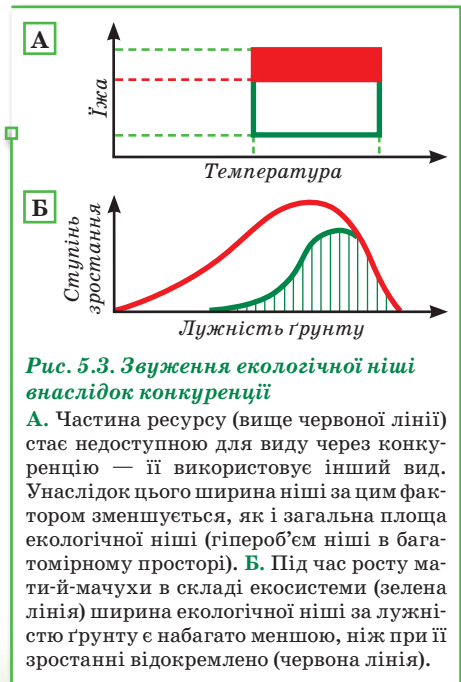


Рис. 5.3. Звуження екологічної ніші внаслідок конкуренції

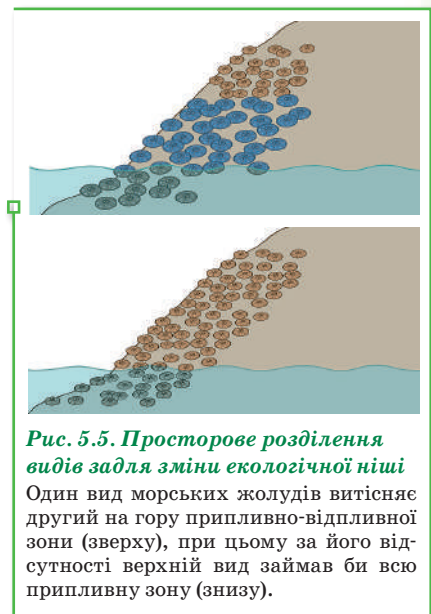
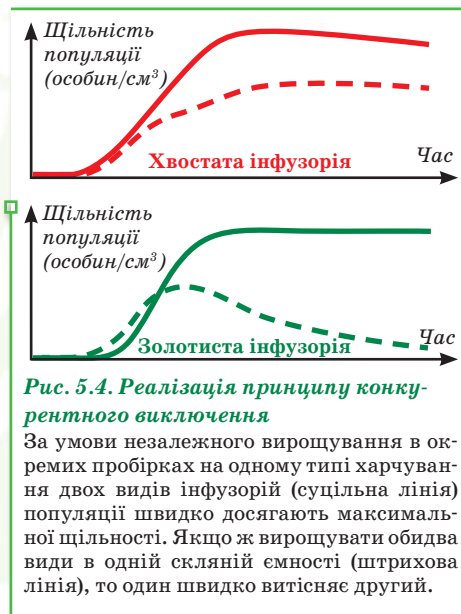
А. Частина ресурсу (вище червоної лінії) стає недоступною для виду через конкуренцію — її використовує інший вид. Унаслідок цього ширина ніші за цим фактором зменшується, як і загальна площа екологічної ніші (гіпероб'єм ніші в багатомірному просторі). **Б.** Під час росту мати-й-мачухи в складі екосистеми (зелена лінія) ширина екологічної ніші за лужністю ґрунту є набагато меншою, ніж при її зростанні відокремлено (червона лінія).

подібними будуть вимоги до середовища та положення видів у екосистемі. А як нам уже відомо, у такій ситуації між видами виникатиме конкуренція. Водночас чим щільніше перекриття, тим жорсткішою вона буде. Якщо ж екологічні ніші збігатимуться, то конкуренція стане настільки жорсткою, що два види не зможуть займати ту ж екологічну нішу протягом тривалого часу — один вид витіснить другий. Це правило отримало назву **принципу конкурентного виключення**¹ (рис. 5.4).

Щоб уникнути жорсткої конкуренції, види зі схожими вимогами змінюватимуть свою екологічну нішу, адаптуючись до нових умов. Розгляньмо кілька прикладів такої зміни.

Одним зі шляхів зменшення конкуренції є просторове розділення видів з екологічними нішами, що перекриваються. Так, на шотландських скелях один вид морських жолудів витіснив інший угору (рис. 5.5). Жорстка конкуренція за ресурси між ними призвела до того, що один вид захопив низ припливної-відпливної зони, а другий — був змушений задовольнятися верхньою частиною, куди вода з їжею потрапляє рідше.

Схожий, але ще жорсткіший приклад витіснення можна спостерігати в українських водоймах. За умови їх заселення одночасно вузькопалим і широкопалим річковими раками перший повністю витісняє другого. Тому зазвичай ці два види мешкають поодаль. Нині через значне поширення вузькопалого річкового рака й активний вплив людини на водойми місць для проживання



¹Цей принцип було сформульовано й доведено одним із фундаторів екологічної науки Георгієм Гаузе.

представників широкопалого рака стало менше. У результаті вид потрапив до категорії вразливих і його занесено до Червоної книги України.

У скелястих місцевостях Близького Сходу й Африки трапляються два види голчастих мишей: єгипетська й золотиста (рис. 5.6). Вони мають схожу харчову базу та мешкають в ідентичних умовах. При цьому єгипетська голчаста миша веде нічний спосіб життя, а золотиста — денний. Але виявилось, що якщо з екосистеми вилучити єгипетську мишу, то золотиста голчаста швидко переходить до нічного способу життя. З цього випливає, що денний спосіб життя золотистої миші є механізмом зміни її екологічної ніші задля зменшення конкуренції із єгипетським видом. Таким чином організми використовують різні шляхи для послаблення конкуренції та розділення екологічних ніш.



Рис. 5.6. Голчасті миші
А. Єгипетська голчаста миша.
Б. Золотиста голчаста миша.

Правило обов'язкового заповнення екологічної ніші виконується не завжди

Час від часу внаслідок зміни умов середовища (стихійного лиха, нашествия хижаків чи паразитів, забруднення) окремі види зникають з екосистеми, залишаючи по собі вільні екологічні ніші. Також ніші з'являються, коли формується нова місцевість, якої не існувало до цього (наприклад, унаслідок гірських обвалів чи виверження вулканів). **Правило обов'язкового заповнення екологічної ніші** стверджує, що такі ніші не залишаються незайнятими тривалий час. На місця зниклих видів приходять інші й використовують ресурси, що звільнилися. Зазвичай першими оселяються екологічно пластичні види, яких згодом витісняють менш пластичні, зате більш пристосовані.



Рис. 5.7. Зябра річкової форелі з численними паразитичними веслоногими рачками

Але численні дослідження свідчать, що це правило виконується не завжди. Наприклад, вивчивши різноманіття зябрових паразитів морських риб (рис. 5.7), вдалося довести, що кількість видів паразитів значно варіюється в риб, схожих за розміром і місцем проживання. Тобто не всі екологічні ніші в екосистемі зябер зайняті. Підрахунок різноманіття комах, що живуть у заростях папороті орляка в різних регіонах Землі, також засвідчив, що значна частина ніш лишається незайнятою. Тому наразі не можна стверджувати про абсолютну істинність наведеного правила.

Елементарно про життя

- 1. Вставте пропущені слова у твердження.

Види із (1) шириною екологічної ніші (2) виживають за зміни умов і є екологічно (3).

А 1 – малою, 2 – краще, 3 – непластичними

Б 1 – великою, 2 – гірше, 3 – пластичними

В 1 – малою, 2 – гірше, 3 – непластичними

Г 1 – великою, 2 – краще, 3 – пластичними

- 2. Як співвідносяться об'єми екологічних ніш виду, якщо він в екосистемі немає конкурентів (X) і якщо співіснує в ній із подібним видом (Y)?

А $X > Y$ **Б** $X < Y$ **В** $X = Y$ **Г** $X \approx Y$

- 3. Знайдіть вислів, який відповідає правилу обов'язкового заповнення екологічної ніші.

А немає страшнішого недоліку за душевну порожнечу

Б кожна людина так тісно пов'язана з іншими, а якщо вона йде, то залишається величезна діра

В природа не допускає порожнечі

Г немає нічого кращого за спокій, немає нічого ліпшого за порожнечу

- 4. Увідповідніть поняття із його змістом.

1 адаптивний потенціал

А місце виду в екосистемі

Б сукупність значень екологічного фактора, за яких організм може жити

2 екологічна

пластичність

В ефективність адаптації організму до нових умов

3 екологічна ніша

Г місцина, у якій мешкає популяція

4 межі витривалості

Д ступінь витривалості виду до зміни умов середовища

У житті все просто

- 5. Схарактеризуйте екологічну нішу обраного вами довільно чи запропонованого вчителем або учителькою біологічного виду.

- 6. Поясніть, чому вільні екологічні ніші найперше заселяються саме екологічно пластичними видами.

У житті не все просто

- 7. Крони дерев одного ярусу змішаного лісу (дуб, клен, ясен, граб, липа) розташовані на однаковому рівні, а кореневі системи схожі. Тому ці рослини опиняються в дуже подібних умовах. Яким чином їм вдається зменшити конкуренцію й розділити свої екологічні ніші?

Проект для дружної компанії

- 8. Знайдіть детальну інформацію про екологічну нішу якогось виду та за допомогою спеціального програмного забезпечення побудуйте тривимірну модель його екологічної ніші.

§ 6. Життя в наземно-повітряному середовищі

Життєві форми організмів є результатом їхнього пристосування до середовища мешкання

У цьому й наступних параграфах ми проаналізуємо закономірності адаптацій організмів до різних середовищ існування. Під **середовищем мешкання** організму, популяції чи угруповання розуміють сукупність зовнішніх умов життя, тобто все, що впливає на живий світ. На нашій планеті можна виокремити чотири середовища мешкання: наземно-повітряне, водне, ґрунтове й організми інших істот.

Якщо проаналізувати різноманіття зовнішнього вигляду рослин чи тварин, що мешкають у одному середовищі, то можна виокремити кілька груп, які мають схожу організацію тіла. Такі типи побудови організмів, що проявляються в його зовнішньому вигляді, називають **життєвими формами**. Існують різноманітні класифікації життєвих форм, що залежать від ознаки, покладеної в основу. Найпростішим прикладом життєвих форм наземних вищих рослин є поділ їх на дерева, кущі, напівкущі й трави (табл. 6.1). Серед тварин наземно-повітряного середовища виокремлюють життєві форми наземних, деревних і повітряних тварин.

При цьому кожна з життєвих форм можна й далі поділяти для отримання більш детальної класифікації. Наприклад, існують дерева листопадні й вічнозелені, трави одно-, дво- й багаторічні, повітряні тварини дво- й чотирикрилі тощо. Крім того, є й перехідні види (наприклад, багатостовбурове дерево чи білка-летяга). Ба більше, життєві форми можуть змінюватися протягом усього існування організму (наприклад, у мати-й-мачухи чи комара) (рис. 6.1).

Таблиця 6.1. Життєві форми рослин

Життєва форма	Особливості будови стебла	Приклади
Дерево	Здерев'яніле основне стебло — стовбур	Береза, ялина, пальма
Кущ	Численні здерев'янілі стебла	Смородина, бузок, виноград
Напівкущ	Численні як здерев'янілі, так і нездерев'янілі (трав'янисті) стебла	Малина, ожина, чорниця
Трава	Одне або кілька трав'янистих стебел	Полин, овес, підсніжник



Рис. 6.1. Зміна життєвих форм протягом існування мати-й-мачухи

А. Весняна квітуча життєва форма без зелених листків.
Б. Літня фотосинтезувальна життєва форма зі зеленим листям.

Формування однакових життєвих форм у неспоріднених організмів зумовлене виникненням подібних адаптацій до схожого впливу екологічних факторів. Очевидно, що для польоту потрібні крила, а для підтримання великої кількості листків — міцні здерев'янілі стовбури. Споріднені організми також часто мають подібні життєві форми.

Найбільше різноманіття умов і видів є в наземно-повітряному середовищі

Наземно-повітряне середовище є найбільш екологічно варіабельним: дія екологічних факторів суттєво змінюється залежно від регіону, пори доби чи року, висоти над рівнем моря тощо. Отже, пристосування організмів до існування в цьому середовищі різноманітні. Крім того, завдяки адаптивній радіації в численних екологічних нішах наземно-повітряного середовища виникла й мешкає більшість видів багатоклітинних організмів. Перш ніж перейти до його розгляду, зауважимо, що окремого повітряного середовища не існує. Річ у тім, що жодна істота не існує все життя, від народження до смерті, у повітрі. Хоча деякі птахи, як-от серпокрильці (рис. 6.2), можуть не приземлятися по кілька місяців, у шлюбний період для висиджування яєць і вигодовування пташенят вони все одно використовують наземне середовище.



Рис. 6.2. Серпокрилець чорний


А. Серпокрилець у польоті. Б. Вигодовування пташенят у «наземному» гнізді.

Наявність освітлення сприяла формуванню великих екосистем і органів зору

Характерною ознакою наземно-повітряного середовища є наявність і мінливість освітлення в ньому. Саме завдяки видимому світлу¹ на суходолі сформувалися великі екосистеми: фотосинтез, який здійснюють рослини на світлі, є основним джерелом поживних речовин для всієї екосистеми (докладніше у § 17). Утім, світлові умови в різних частинах середовища не є одноманітними. Тому одні рослини здійснюють фотосинтез лише за високої інтенсивності світла (світлолюбні), інші ж призвичаїлись до незначної його кількості (тіньлюбні). При цьому фотосинтетичні системи останніх володіють вищою чутливістю до світла, тобто забезпечують фотосинтез навіть у тіні.

¹Промені видимого світла (400–800 нм) є лише частиною всього діапазону електромагнітних хвиль.

У тваринному світі освітлення забезпечило орієнтування в просторі за-
для пошуку їжі, партнера, утечі від хи-
жака чи побудови житла. Адаптацією
до його сприйняття є формування очей,
які характерні для більшості організмів
у наземно-повітряному середовищі меш-
кання. Оскільки інтенсивність освітлен-
ня змінюється протягом доби¹, то виник-
ли специфічні екологічні ніші денних,
нічних і сутінкових тварин. Цікаво, що
структура їхніх очей відрізняється. Ден-
ні тварини здебільшого мають очі, що
забезпечують кольоровий зір (тобто мі-
стять кілька різновидів фотопсинів), тоді
як у нічних і сутінкових — поганий ко-
льоровий зір, проте в них є спеціальні
пристосування для збільшення вловлю-
вання світла. Наприклад, у собак чи ко-
тів, замість світлопоглинального шару,
позаду сітківки розташовується світло-
відбивальний, що забезпечує проходжен-
ня світла крізь фоторецептори два рази:

ззовні до шару й від шару на-
зовні (рис. 6.3). Як тварини ба-
чачуть уночі, ви можете дізнатися
з відео. 

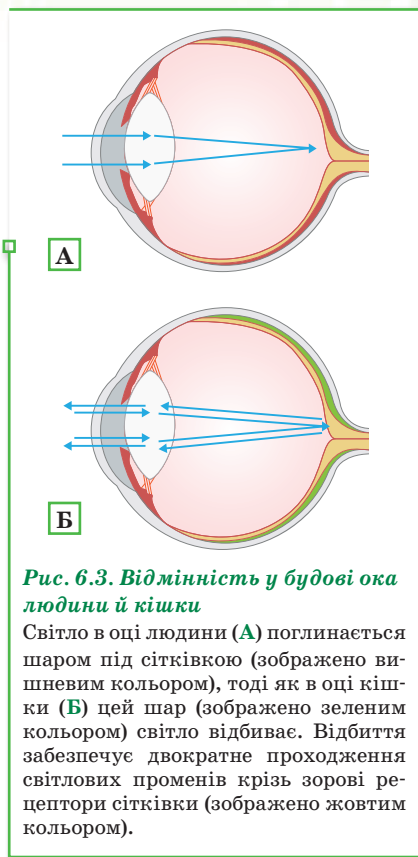


Рис. 6.3. Відмінність у будові ока людини й кішки

Світло в оці людини (А) поглинається шаром під сітківкою (зображено вишневим кольором), тоді як в оці кішки (Б) цей шар (зображено зеленим кольором) світло відбиває. Відбиття забезпечує двократне проходження світлових променів крізь зорові рецептори сітківки (зображено жовтим кольором).

Велика мінливість температури спричинила появу різноманітних адаптацій

Температурні умови наземно-повітряного середовища надзвичайно різноманітні: від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ на полюсах до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ у тропіках. При цьому температура може суттєво змінюватися протягом доби: у пустелі Сахара середньорічна різниця температури дня й ночі — $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тому окремі групи організмів пристосовуватимуться до різного діапазону температур, за яких вони існують. Також організми мають адаптації, потрібні для терморегуляції, й про них детально йтиметься окремо у § 8.

Види живих організмів, що живуть за високих температур навколишнього середовища, отримали назву теплолюбних. Їхньою визначальною рисою є нездатність переносити прохолодні умови. Річ у тім, що біохімічні реакції теплолюбів мають нормальну швидкість лише за підвищених температур. Яскравими прикладами таких організмів є види, що живуть у тропічних

¹ Це справедливо лише для територій, розташованих між полярними колами.



Рис. 6.4. Теплолюбні організми

А. Дрібне листя акації добре обвітрюється, що дозволяє йому краще охолоджуватися. **Б.** Родина левів під час полуденної сієсти відпочиває в тіні. **В.** Великі вуха слона виконують охолоджувальну функцію.

та екваторіальних лісах. Теплолюбні рослини часто мають дрібне листя, вкрите кутикулою: так воно добре охолоджується повітрям і відбиває сонячні промені (рис. 6.4, А), або ж у них воно зовсім відсутнє, як у кактусів. Теплолюбні ж тварини в періоди спеки знижують свою активність й переховуються в норах, ґрунті чи просто тіні (рис. 6.4, Б), тобто мають поведінкові адаптації. Крім того, у теплолюбних ссавців є частини тіла, що випинаються для охолодження, розвинена капілярна сітка яких дозволяє ефективно втрачати тепло (рис. 6.4, В).

Холодолюбні види навпаки почувуються добре за низьких температур. У клітинах холодолюбних і холодовитривалих рослин узимку наявні підвищені концентрації йонів і вуглеводів та зменшена кількість води. Це захищає цитоплазму клітин від замерзання й утворення руйнівних кристалів льоду. Крім того, їхній ріст і розвиток зазвичай пришвидшений, оскільки сприятливий для цього сезон у прохолодних регіонах є дуже коротким. Холодовитривалі тварини, своєю чергою, задля переживання сильних заморозків впадають у сплячку чи анабіоз¹, під час яких метаболізм значно сповільнюється.

Параметри тіла тварин залежать від температурних умов, у яких вони живуть

Для теплокровних тварин (птахів і ссавців) існує залежність між розмірами тіла й температурою середовища (рис. 6.5). **Правило Бергмана** стверджує, що у тварин одного чи близьких видів середні розміри тіла збільшуються зі зменшенням температури середовища життя. Це пояснюється тим, що тіло втрачає теплоту через власну поверхню, а утворює — у своєму об'ємі. Однак площа поверхні зростає, як квадрат лінійних розмірів, а об'єм — як куб². Тому

¹ Від грец. *ана* — повторно і *біос* — життя: у підсумку означає «воскресіння».

² Порівняйте: площа поверхні куба дорівнює $6a^2$, а об'єм — a^3 . При збільшенні ребра куба у два рази площа поверхні фігури зростає в 4 рази ($2^2 = 4$), а об'єм — у 8 разів ($2^3 = 8$).



Рис. 6.5. Правила Бергмана й Алена

А. Тіло північноамериканського підвиду сірого вовка (ліворуч) є більшим за тіло індійського підвиду (праворуч). **Б.** Розмір вух зростає з потеплінням клімату: найменші вуха — у полярного зайця (ліворуч), середні — у європейського зайця-русака (у центрі) і найбільші — у мексиканського зайця Алена (праворуч).

у великих тварин більша теплопродукція й менша тепловтрата (об'єм зріс більше, ніж площа поверхні тіла), що добре відповідає холодним умовам, тоді як у дрібних тварин навпаки. Іншим наслідком цієї залежності є зменшення розміру частин тіла, що виступають (вух, хвоста, кінцівок тощо): що холодніший клімат, у якому живе тварина, то меншими є розміри її частин тіла. Ця закономірність відома як **правило Алена**. Остання залежність зумовлена тим, що такі частини тіла мають невеликий об'єм, але значну площу поверхні. А це означає, що тепловтрати в них великі, теплопродукція мала, що неприпустимо в холодних умовах. Наведені правила не є абсолютними і справджуються не завжди.

Інші екологічні фактори мають суттєвий вплив на життя в наземно-повітряному середовищі

Як і температура, вологість у наземно-повітряному середовищі суттєво варіює. З адаптаціями сукулентів до посушливих умов ви знайомі з § 3. У верблюдів, окрім овальних еритроцитів, про які йшлося в § 4, наявні й інші риси пристосованості до довготривалої нестачі вологи: запаси жиру в горбі чи горбах, при окисненні якого утворюється вода, особлива будова носа, що значно зменшує випаровування води зі слизової оболонки тощо. Тварини посушливих умов також ефективно економлять вологу, виводячи сечову кислоту й сечовину в концентрованих сумішах, а не у вигляді розбавленого розчину (як люди). Покриви організмів таких місцин зазвичай товстіші, ніж у вологолюбних. Додаткове потовчення забезпечує зменшення випаровування вологи з тіла.

Оскільки концентрація кисню в наземно-повітряному середовищі найвища, то інтенсивність обміну речовин у ньому залежатиме лише від надходження харчу як джерела енергії, тому його мешканці характеризуються найбільш жвавим життям. Адаптації до ефективного використання кисню (особливості будови дихальних, кровоносних і рухових систем) дозволили наземним тваринам швидко рухатися та літати (уявіть, колібри роблять до 100 помахів крил на секунду!), і врешті-решт дали змогу розвинути теплокровність. Нагадаймо, що теплокровність полягає в здатності організму підтримувати сталу температуру тіла. Для цього в холодних умовах ссавці й птахи повинні витратити на власний обігрів значні обсяги енергії. Саме процес кисневого дихання забезпечує тварин надлишком енергії, яку можна швидко отримати за першої потреби.

Елементарно про життя

- 1. Що з переліченого НЕ є життєвою формою?

A дерево **B** чотирилапа тварина **B** личинка **Г** двокрила тварина

- 2. Наявність кількох різних фотопігментів у колбочках сітківки ока дозволяє

A краще бачити в сутінках **B** краще розрізняти кольори

B гірше бачити в сутінках **Г** бачити предмети кілька разів

- 3. Якщо виміряти параметри тіл за допомогою кубиків, то об'єм тіла росломахи у (X) разів більший, ніж у ласки, але площа поверхні тіла — у (Y) разів. Це свідчить, що великі звірі є (Z) тепловитратними порівняно з дрібними.

A X–3, Y–9, Z –більш **B** X–27, Y–3, Z –більш

B X–27, Y–9, Z –менш **Г** X–9, Y–6, Z –менш



- 4. Піренейська рись є одним із найрідкісніших видів ссавців на Землі й мешкає на півдні Іспанії. Порівняно з її хвостом, хвіст у звичайної карпатської рисі

A має таку ж довжину **B** довший **B** коротший **Г** відсутній

- 5. Увідповідніть рису організму й особливості наземно-повітряного середовища, пристосуванням до якої вона є.

1 довгий корінь

A твердість ґрунту

2 велика концентрація сахарози в цитоплазмі

B висока температура

3 широкі вуха

Г низька густина повітря

4 легкі крила

Д нестача води

У житті все просто

- 6. Схарактеризуйте пристосування до різних екологічних факторів наземно-повітряного середовища однієї комахи й однієї квіткової рослини, що трапляються на території України.

- 7. Слон і бегемот є великими тваринами, які живуть у спекотному кліматі, тоді як великий розмір характерний здебільшого для тварин холодних регіонів. Завдяки яким особливостям тіла вони переносять спеку?

У житті не все просто

- 8. Порівняйте середній зріст і розмір тіла людей північних і екваторіальних етнічних груп. Чи виконується для них правило Бергмана? Чому?

Проект для дружної компанії

- 9. Визначення площі поверхні й об'єму власного тіла.

1) Визначте площу поверхні власного тіла, скориставшись готовими формулами, нормограмами чи онлайн-калькуляторами.

2) Виміряйте об'єм власного тіла методом витіснення води.

3) Розрахуйте співвідношення між визначеними параметрами тіла. Порівняйте його з відомостями про інших теплокровних тварин теплих і холодних регіонів Землі.

§ 7. Життя у водному та ґрунтовому середовищах

Умови у водному середовищі змінюються з глибиною

Водне середовище є «колиською життя» — саме в ньому виникли перші організми й протягом понад 3 млрд років там розвивалося все живе. У водному середовищі виділяють дві основні екологічні зони: товщу води й дно. Умови в середовищі змінюються із глибиною. Так, для поверхневого шару характерна часта зміна умов (до прикладу, зміна освітлення вдень і вночі, температури влітку й взимку, концентрації речовин після дощу тощо), оскільки цей шар контактує з мінливим наземно-повітряним середовищем. Чим глибше проживають організми, тим зміни умов менші, й, починаючи з глибини в кілька сотень метрів, майже всі параметри стають досить сталими (окрім тиску, що безперервно зростає). А умови середовища на дні водойми залежать від того, як глибоко це дно розташоване.

Життєві форми гідробіонтів відрізняються своєю рухливістю

У водному середовищі існують різні життєві форми водних організмів — **гідробіонтів**¹. Залежно від прикріплення виділяють дві основні життєві форми рослин і тварин: ті, які вільно плавають, і прикріплені. А рослини, що плавають, поділяють на групу тих, які плавають на поверхні, й тих, які плавають у товщі водойми (рис. 7.1). Адаптаціями до розміщення на поверхні води є різноманітні повітроносні утворення, що зменшують середню густину тіла рослин. Тварини ж товщі води можуть плисти за течією, не маючи змоги протидіяти їй, і тоді їх відносять до **планктону**, або ж активно рухатися проти течії — це представники **нектону** (рис. 7.2). Планктонні організми, завдяки високій густині води, можуть у ній зависати на одній глибині. Для цього в них сформувалися специфічні пристосування: зменшена густина тіла за рахунок накопичення крапель жиру, пухирців газу чи втрати скелета і збільшене тертя завдяки сплюсненій формі тіла й утворенню численних виростів. Нектонні

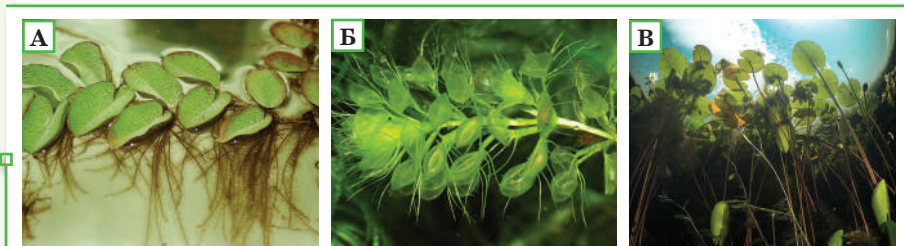


Рис. 7.1. Життєві форми рослин-гідробіонтів

А. Папороть сальвінія є представником рослин, які плавають на поверхні водойм.
Б. Комахоїдна рослина альдрованда плаває в товщі води й ловить водних комах своїм листям. **В.** Лотос має довге стебло й кореневище, що закріплює його на дні.

¹ Від грец. *hyder* — вода і *bion* — той, що живе.

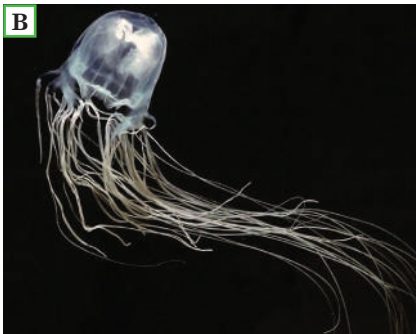
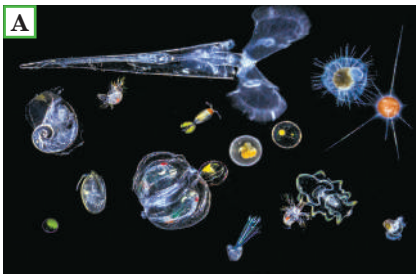


Рис. 7.2. Життєві форми тварин-гідробіонтів

А. Планктонні організми мають густину, близьку до густини води, й вирости, що допомагають зависати в її товщі. **Б.** Червонокнижний білобокий дельфін завдяки потужним ластам і хвостовому плавцю може розвивати швидкість до 60 км/год. **В.** Смертельно небезпечна кубомедуза морська оса використовує реактивний рух для плавання.

тварини мають пристосування до активного руху — це плавці й ласта для греблі, утворення для реактивного руху (у головоногих молюсків і медуз) та обтічна форма тіла.

Наявність численних планктонних істот призвела до виникнення великої екологічної групи організмів-фільтраторів. До них належать губки, ланцетники, двостулкові молюски, синій кит, китова акула. Ці представники пропускають крізь себе воду, при цьому виловлюючи планктонні організми й органічні рештки. Здебільшого вони ведуть придонний спосіб життя на відносно невеликій глибині.

Водні тварини адаптувалися до незначних змін температури

Температура у водоймах змінюється лише біля поверхні, й то незначно. Це пояснюється тим, що вода має велику теплоємність, значення теплот випаровування й плавлення. Тому для того, щоб змінити її температуру, випарувати чи перетворити на лід, потрібно надати або забрати багато теплоти. У результаті весь тепловий «удар» під час спеки чи заморозків бере на себе поверхневий шар водойми, підтримуючи більш-менш сталу температуру протягом усього року в розташованих глибше шарах. Більшість гідробіонтів Світового океану живе у досить сталих температурних умовах і має адаптації до певно-

го вузького інтервалу температур, тобто є екологічно непластичними за температурою. Наприклад, кити холодних районів океанів мають потужний шар підшкірного жиру, який є гарним теплоізолятором. А ось тварини континентальних водойм помірного клімату при зниженні температури часто суттєво знижують активність і переходять у стан спокою.

Глибинні гідробіонти здатні випромінювати світло в суцільній темряві

Зі зростанням відстані від поверхні зменшується кількість світла у водоймах, тому на глибинах більше 1500 м панує вічна темрява. Зменшення освітлення зумовлене тим, що вода інтенсивно відбиває світлові промені, а організми і тверді частинки, завислі у воді, поглинають їх. Унаслідок фотосинтетична зона простягається лише від поверхні й до глибин 200–250 м. Зі зростанням глибини змінюється також забарвлення фотосинтезувальних організмів: якщо біля поверхні поширені зелені й бурі водорості та зелені вищі рослини, то глибше збільшується кількість червоних водоростей. Зміна набору пігментів зумовлена тим, що глибина проникнення світлових променів залежить від їхньої енергії. А найбільш енергетичні синьо-фіолетові промені найкраще поглинаються червоними пігментами.

Тварини поверхневого шару мають розвинені очі, що дозволяють їм орієнтуватися в добре освітлюваному різнокольоровому світі. У глибоководних тварин очі є спрощеними, бо світло в місцях їхнього існування є рідкістю. Зате його поява в глибинній темряві є ефективним сигналом, тому численні глибоководні тварини здатні до **біололюмінесценції** — випромінювання світла живими організмами (рис. 7.3). Завдяки ній вони приваблюють статевих партнерів, комунікують між собою, полюють і захищаються.



Рис. 7.3. Біололюмінесцентні тварини

А. Медуза екворея стала джерелом зеленого флуоресцентного білка, який широко використовується в біологічних дослідженнях. **Б.** Риби-вудильники мають спеціальну видозміну спинного плавця — вудку, що світиться, приваблюючи жертв до хижака.

Зміни хімічного складу й тиску також визначають адаптації водних організмів

Хімічний склад прісних і солоних водойм суттєво відрізняється вмістом солей. Оскільки в клітинах їх зазвичай більше, ніж у прісній воді, то одноклітинні еукаріоти зіткнулися з проблемою постійного надходження води до клітини¹. Для того, щоб виводити її надлишок, у них сформувалися спеціальні

¹ Вода крізь мембрану переходить із розчину з низькою концентрацією солей до розчину з великою. Це вже відоме вам явище осмосу.

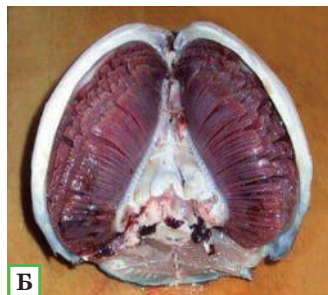
**А****Б**

Рис. 7.4. Адаптації до особливостей хімічного складу води

А. У клітині інфузорії-туфельки наявні дві скоротливі вакуолі, схожі на квіточки.
Б. Зябра риб мають червоний колір через насичення їх кров'ю для ефективного поглинання кисню з води.

скоротливі вакуолі (рис. 7.4, А). Іншою проблемою є низька розчинність кисню у воді. Тому великі гідробіоти мають спеціальні органи дихання — зябра, крізь які проходять значні об'єми води із киснем (рис. 7.4, Б). Оскільки на великій глибині не живуть фотосинтетики, які здатні виділяти кисень, і вода погано перемішується, там виникли умови, близькі до анаеробних. Тому й обмін речовин глибоководних організмів є не таким активним, як у поверхневих аеробних гідробіотів. До речі, саме на дні океанів живе значна кількість хемосинтезувальних бактерій.

Висока густина води спричиняє значне зростання тиску зі збільшенням глибини: приблизно на 1 атм кожні 10 м. Тому для вертикального переміщення організми повинні бути екологічно пластичними до зміни тиску. Для полегшення спливання чи занурення в кісткових риб сформувався спеціальний виріст передньої кишки — плавальний міхур. Крім того, витримування величезного тиску на дні океанів є проблемою: для глибоководних організмів характерна втрата скелету, який за такого тиску міг би руйнуватися.

Ґрунтове середовище має риси подібності до водного середовища

Іще одним заселеним живими організмами середовищем є ґрунтове. Ґрунт — це верхній родючий шар літосфери, утворений трьома компонентами: твердими частинками мінеральних і органічних речовин, повітрям та водними розчинами між ними. За аналогією до водного середовища, коливання температурних умов спостерігаються лише в поверхневому шарі, а з глибини в 1-1,5 м температура є сталою. А от вологість ґрунтового середовища є вищою за вологість наземно-повітряного, що дозволило організмам позбутися товстих покривів, як адаптації до зменшення випаровування. Уміст кисню в ґрунті більший за вміст у воді, але також зменшується із глибиною. Основною відмінністю ґрунтового середовища від наземно-повітряного й водного є відсутність світла, а тому й фотосинтезувальних організмів у його товщі немає.

Це означає, що основним джерелом поживних речовин є відмерлі рештки організмів наземно-повітряного середовища й поверхні ґрунту, яких особливо багато у верхньому гумусовому шарі. Крім того, корені й видозміни пагонів рослин розташовані в ґрунті й можуть бути використані організмами, які там живуть, у якості їжі. Відсутність світла також спричинила втрату очей чи їхнє спрощення в підземних організмів.

Кожна група ґрунтових організмів має свій набір адаптацій до життя

За розміром мешканців ґрунту можна розділити на кілька груп. Найбагатшою за видовим складом і кількістю особин є група бактерій і мікроскопічних грибів (у 1 см³ ґрунту живе кілька мільярдів бактерій!). Здебільшого це сапротрофні організми (харчуються рештками), що забезпечують гниття. Задля цього в багатьох із них є ферменти, які вони виділяють у навколишнє середовище для позаклітинного травлення. Саме ці організми забезпечують родючість ґрунту, перетворюючи органічні речовини решток на неорганічні в процесі життєдіяльності.

Дуже дрібні ґрунтові організми формують групу мікрофауни. До них відносять одноклітинних еукаріотів, здатних до руху, найменших членистоногих, нематод (рис. 7.5). Для них ґрунт фактично є системою водойм. Але через низьку шпаристість ґрунту їхні розміри значно менші за розміри споріднених видів,



Рис. 7.5. Мікрофауна ґрунту
 А. Черепашкова амеба. Б. Коловертка.
 В. Тихохід.



Рис. 7.6. Мезофауна ґрунту
 А. Гамазовий кліщ. Б. Дрібна багатоніжка.
 В. Колеболо.



Рис. 7.7. Макрофауна ґрунту

А. Личинка жука-ковалика. **Б.** Вовчок. **В.** Багатоніжка кістянка.

що вільно живуть у водному середовищі. Крім того, оскільки через малі розміри вони не можуть суттєво змінити своє положення в середовищі, то володіють здатністю легко й надовго переходити в захищений стан цист чи впадати в анабіоз.

Мезофауна ґрунту представлена численними членистоногими розміром до 2-3 мм (рис. 7.6). Для них ґрунт є системою печер, якою вони пересуваються за допомогою кінцівок. Завдяки вологості ґрунтового повітря багато з них дихає через покриви й має спрощену дихальну систему. За несприятливих умов (під час посухи чи похолодання) найдрібніші види намагаються переміщуватися углиб, тоді як більші переживають їх завдяки наявності потовщених захисних покривів.

Розміри представників макрофауни можуть сягати кількох сантиметрів — це личинки комах, великі багатоніжки, дощові черви (рис. 7.7). Вони пересуваються, розширюючи наявні ходи за рахунок зміни об'єму тіла чи прокопуючи нові щелепами або копальними кінцівками. Завдяки здатності активно рухатися такі тварини швидко залишають зони з несприятливим для себе умовами. Також вони відіграють важливу роль у перемішуванні ґрунту, що покращує умови гниття рослинних решток і сприяє збільшенню родючості.

Великих землерийних ссавців, які живуть у ґрунті, відносять до мегафауни. Вони мають потужні копальні кінцівки з кігтями (кроти) чи великі копальні різці (сліпаки), малорозвинені очі та зменшені вушні раковини (рис. 7.8). Усе це дозволяє їм активно пересуватися в товщі землі в пошуках їжі й сприятливих умов.



Рис. 7.8. Мегафауна ґрунту

А. Кріт. **Б.** Сліпак.

Голий та унікальний землекоп

Неймовірно дивовижною є сукупність адаптцій голого землекопа — дрібного гризуна розміром 8–10 см, що веде підземний спосіб життя в саванах і пустелях сходу Африки. Назва виду зумовлена майже повною відсутністю хутра на шкірі тварини. Він має лише чутливі волосини — вібриси — на морді й біля хвоста та жорсткі волосини між пальцями, що допомагають йому краще копати. До речі, вібриси на задній частині тіла — це дуже зручне надбання для вузьких нір, коли часто доводиться задкувати. Великі зуби стирчать перед губою, що дає змогу використати їх для копання й не дозволяє землі потрапляти до рота. Гола шкіра землекопа унікальна тим, що вона зовсім не чутлива до болю, тому дрібні порізи й потертості, ба навіть неконцентровані кислоти не завдають тваринці клопоту! Особливістю тіла землекопа, що відрізняє його від більшості інших тварин, є асиметрія тіла за кількістю сосків: їх у самки п'ять з одного боку й шість із іншого.



Не менш унікальною є тривалість життя землекопа — 28–32 років, що у 8 разів (!) більше за тривалість життя звичайної хатньої миші й робить його рекордсменом за довголіттям серед гризунів. Учені вважають, що це наслідок ефективного підтримання стійкості ДНК і відновлення активних форм Оксигену, здатності знижувати швидкість метаболізму й високої стійкості до раку. За всю історію спостережень лише у двох представників цього виду було знайдено пухлини й то лише тому, що вони жили в багатій на кисень атмосфері! Річ у тім, що голі землекопи живуть у норах, де вміст кисню всього лише 2–9%. Ба більше, вони здатні 18 хвилин протриматися в безкисневій атмосфері й нормально почуватися в повітрі із 80% вмістом вуглекислого газу! Неймовірно, але голі землекопи — єдині холоднокровні ссавці, температура тіла яких залежить від температури зовнішнього середовища, подібно до риб і ящірок!

Для цих гризунів характерна складна соціальна організація колонії, схожа на таку у бджіл і мурах: усі члени колонії (їх зазвичай 70–80 особин) є родичами й нащадками однієї самки-цариці, що спарюється виключно з 2–3 плодовитими самцями. Решта ж її членів — нездатні до розмноження робочі особини. При цьому менші з них копають ходи, а більші — переважно охороняють їх від нападу змій.

Цікаво, що всі робочі особини лишаються здатними до розмноження, але не спарюються. Лише у разі смерті цариці самки змагаються між собою, й одна з них стає королевою колонії. При цьому її тіло змінюється: зростає відстань між хребцями, вона набирає жирову масу й стає приблизно в два рази важчою за будь-яку іншу особину колонії. Вагітність у землекопів триває 70 днів, тож приплід може з'являтися кожні три місяці, хоча в природі розмноження відбувається лише раз на рік.

Елементарно про життя

■ 1. Сергій вважає, що планктонні організми мають густину, близьку за значенням до густини води. А Валерія стверджує, що нектонні тварини здатні плисти за течією. Хто з підлітків має рацію?

А Сергій **Б** Валерія **В** обидвоє **Г** жоден

■ 2. Низька екологічна пластичність за температурою багатьох гідробіонтів спричинена

А відсутністю світла на глибині водойм **Б** низькою теплоємністю води
В високою температурою кипіння води **Г** малою мінливістю температур у водоймах

■ 3. Ґрунтова й водне середовища подібні

А відсутністю кисню й більшою густиною за повітря

Б наявністю світла

В залежністю умов від відстані до поверхні

Г сталістю температурних умов біля поверхні

■ 4. Розгляньте діаграму складу ґрунту за масою й укажіть правильне твердження.

А найпоширеніший компонент ґрунту — живі організми

Б гумус є основною частиною органіки ґрунту

В уміст води в ґрунті приблизно такий же, як в наземно-повітряному середовищі

Г у ґрунті міститься майже у два рази більше повітря, ніж у воді

■ 5. Увідповідніть тварину й групу ґрунтових організмів, до якої вона належить.

1 інфузорія

2 сліпак

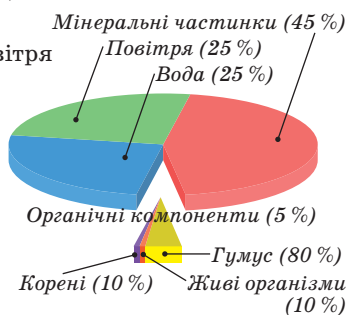
3 личинка хруща

4 панцирний кліщ

А мікрофауна **Б** мезофауна

В макрофауна **Г** мегафауна

Д норні тварини



У житті все просто

■ 6. Чому фотосинтезуювальних організмів із зеленими пігментами багато біля поверхні, а із червоним — на глибині? Як це пов'язано із тим фактом, що глибоководні організми зазвичай мають одноманітне темне забарвлення?

■ 7. Відомо, що кролі, на відміну від зайців, живуть у власноруч створених норах. Спрогнозуйте, які особливості будови можуть відрізнити кролів і зайців у зв'язку з життям у норах. Перевірте свої гіпотези на світлинах і описах цих тварин.

У житті не все просто

■ 8. Як глибоководним тваринам вдається добувати світло у своїх організмах? У який спосіб біолюмінесценція допомагає їм захищатися від хижаків?

■ 9. Для виробництва харчового згущувача агар-агару використовують суміш полісахаридів, добутих із червоних водоростей. Чи є можливим виробництво агар-агару в Україні? Які для цього потрібні ресурси й інструменти?

§ 8. Способи терморегуляції організмів

Організми адаптувалися до існування в певному інтервалі температур

Температура є одним із екологічних факторів, що змінюється як із часом — протягом доби чи року, так і в просторі — при переміщенні між середовищами чи в межах одного середовища. Тому в організмів виробилися адаптації до життя за певної температури й до перенесення її змін.

Температурні пристосування є необхідною умовою існування живих істот через несприятливий вплив низьких і високих температур на біохімічні процеси. Так, за низької температури хімічні реакції сповільнюються, їхня швидкість стає недостатньою для забезпечення потреб організму. А за температури нижче нуля кристалики льоду, що утворюються в клітинних розчинах, розривають мембрани й спричиняють загибель клітин. Висока ж температура розбалансовує процеси обміну речовин: одні починають відбуватися настільки швидко, що інші не встигають забезпечувати їх реагентами чи утилізувати продукти. При подальшому нагріванні білки втрачають природну структуру (денатурують), а разом із нею і функції. Щоб уникнути цих явищ, організми намагаються підтримувати температуру свого тіла у відповідному діапазоні.

Залежно від здатності підтримувати сталу температуру тіла виокремлюють пойкило- та гомойотермні організми

Температуру тіла організму визначає його тепловий баланс: співвідношення кількостей отриманої і втраченої теплової енергії (рис. 8.1). Основними джерелами теплоти для організму є надходження енергії від більш нагрітих об'єктів (переважно Сонця, повітря й води) і вироблення в організмі. Теплота в тілі всіх істот виробляється як побічний продукт процесів окиснення й розщеплення АТФ. Тому чим активніший метаболізм організму, тим більше теплової енергії в ньому утворюватиметься. Загалом терморегуляція може здійснюватися двома принциповими механізмами: зміною інтенсивності теплоотримання чи регуляцією своїх тепловитрат. І організми користуються обома.

Якщо основним джерелом теплоти для організму є зовнішні об'єкти, то температура тіла залежатиме безпосередньо від температури довкілля. Такі



організми називають **пойкілотермними**. На Землі їх більшість. **Гомойотермні**¹ ж організми підтримують більш-менш сталу температуру тіла завдяки високій інтенсивності обміну речовин й ефективному використанню енергії, що виділяється під час біохімічних перетворень. Лише птахи та ссавці із сучасних тварин здатні до такого «самозгрівання» і є гомойотермними.

Пойкілотермні організми здійснюють терморегуляцію завдяки випаровуванню води, роботі м'язів і поведінковим змінам

Більшість пойкілотермних видів живе в умовах, де коливання температури незначні. Тому вони адаптувалися до них і не відчують потреби в регулюванні температури тіла. Наприклад, рослини тропічних лісів витримують зниження температури лише на 5–8 °С, а коралові поліпи виживають лише в діапазоні температур води від +20 до +30 °С. Такі види екологічно непластичні та мають вузький діапазон толерантності за температурою.

Але частина пойкілотермних організмів часто опиняється в умовах мінливої температури, тому вони виробили способи терморегуляції, що дозволяють їм добре переносити нагрівання чи охолодження. На молекулярному рівні пристосування, пов'язане з коливанням температури, може здійснюватися шляхом зміни структури ферментів. Наприклад, навесні температура води в припливно-відпливній зоні північних морів може змінюватися на 20 °С. Тому молюски, що там живуть, мають білки, форма яких залежить від температури: при її зниженні просторова структура ферментів змінюється так, що реакція починає відбуватися інтенсивніше. Або ж за зміни температури в клітинах можуть синтезуватися нові, більш (при зниженні температури) або менш (при підвищенні) активні ферменти.

Рослини не здатні уникнути спеки чи холоду, тому часто потрапляють в умови мінливої температури. Але вони мають ефективні способи терморегуляції. Основним із них є зміна транспірації — випаровування води з поверхні листків крізь продихи (*рис. 8.2*). Через те, що для нагрівання й випаровування води потрібно багато енергії, рослини, збільшуючи транспірацію за спекотних умов, охолоджуються. Утім такий спосіб є дієвим лише за умов достатньої вологості ґрунту. Цікаво, що скидання листя восени можна вважати способом адаптування до холоду, оскільки втрати води, а з нею й тепла, значно зменшуються взимку без наявності продихів на рослині. Деякі злаки задля зменшення випаровування згортають листки в трубочки, а евкаліпти повертають листя ребром до сонячних променів, щоб ті менше нагрівалися. Дуже холодних умов рослини намагаються уникати тому, що значно підвищити теплоутворення в організмі або покращити теплоізоляцію вони не мають змоги.

¹ Терміни «пойкілотермні» (від грец. *poikilos* — мінливий і *thermo* — тепло) і «гомойотермні» (від грец. *homoiolos* — однаковий та *thermo*) є більш вдалими ніж «холодно-» і «теплокровні» відповідно, оскільки температура тіла холоднокровних може бути вищою за температуру теплокровних. Наприклад, під час спеки холоднокровна ящірка розгрівається сильніше, ніж теплокровний верблюд.

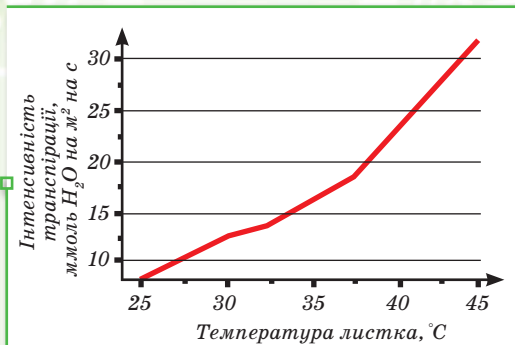


Рис. 8.2. Залежність інтенсивності транспірації від температури листка пшениці



Рис. 8.3. Джміль на квітці в інфрачервоному спектрі

Тіло джмеля має набагато вищу температуру, ніж квітка, тому в інфрачервоному діапазоні променів у нього яскравіший вигляд.

Тварини ж, завдяки здатності активно рухатися, здійснюють терморегуляцію шляхом переміщення в більш сприятливі місцини або зміни пози. Загальновідомими є приклади змії чи ящірок, що виповзають на розігріте каміння чи сонячні галявини, щоб погрітися вдень. Сарана прохолодними ранками повертається широким боком до сонця, а в спекотний полудень — вузькою спиною. Також багато пойкилотермних тварин може будувати нори й гнізда та використовувати їх для підтримання сприятливої температури довкола тіла.

Ще одним тваринним способом терморегуляції є зміна інтенсивності роботи мускулатури. Річ у тім, що при скороченні м'язів лише частина хімічної енергії використовується для виконання роботи, її ж решта розсіюється у вигляді теплоти, зігріваючи організм. Наприклад, джмелі можуть збирати нектар навіть за температури повітря +5 °C, при цьому завдяки постійному рухові крил їхні тіла розігріваються аж до +36...+38 °C (рис. 8.3)! Подібним чином, скорочуючи м'язи, самка пітона, що висиджує яйця, може підвищити температуру свого тіла на 5-6 °C.

Інші наземні тварини, уподібнюючись до рослин, регулюють свою температуру шляхом випаровування води. При цьому вона може випаровуватися як із поверхні тіла (як-от у наземних амфібій), так і з відкритого рота (у рептилій).

Гомойотермні тварини можуть ефективно регулювати теплоутворення

Усі гомойотермні організми — це тварини, здатні до руху. Тому, за аналогією до пойкилотермних, вони використовують поведінкові реакції й житло для регуляції свого температурного оточення. Цікаво, що деякі птахи і ссавці здатні до групової терморегуляторної поведінки. Наприклад, пінгвіни під час заметілі й верблюди в спеку щільно скупчуються (рис. 8.4), зменшуючи площу контакту між організмами й навколишнім середовищем. Такий підхід дозволяє підтримувати сприятливу сталу температуру в центрі групи. При цьому



Рис. 8.4. Щільна зграя пінгвінів

тварини зовнішнього кола час від часу міняються місцями із тваринами усередині, щоб зігрітися (пінгвіни) чи охолонути (верблюди).

Але повністю уникнути несприятливих умов не завжди є можливим, тому гомойотермні характерні й фізіологічні способи регуляції: зміна стану покривів і посилення випаровування. У прохолодних умовах, збільшивши кровопостачання шкіри, птахи й ссавці забезпечують її ефективне зігрівання. А регулюючи стан оперення й хутра, вони можуть значно підвищувати їхні теплоізоляційні властивості (рис. 8.5, А): прогріте повітря біля шкіри ніби «застрягає» між настовбурченими пір'їнами чи волосинами й не дозволяє зовнішньому холодному повітрю наблизитися до шкіри. За спекотної температури тварини активізують випаровування води зі шкіри чи слизових оболонок ротової порожнини й верхніх дихальних шляхів (рис. 8.5, Б). У такий спосіб вони, як і пойкилотермні тварини, втрачають значну кількість теплоти.

Унікальним способом терморегуляції гомойотермних організмів є збільшення теплопродукції шляхом спалювання поживних речовин. При зниженні температури в організмах цих тварин (особливо в м'язах) відбувається окиснення поживних речовин без виконання корисної роботи. У результаті майже вся енергія вивільняється у вигляді теплової. У ссавців навіть сформувалася спеціальна жирова тканина — бурий жир, запаси якого вони використовують лише для обігріву тіла. Такий процес вимагає значних відкладень поживних речовин чи інтенсивного харчування. Особливо це є актуальним для дрібних гомойотермних тварин через велику втрату тепла з поверхні тіла¹: землерийка вагою близько 10 г за добу з'їдає до 40 г харчу! З другого боку, такий спосіб терморегуляції не поширений серед тварин Півночі з огляду на обмеження харчових ресурсів у екосистемах.

Унікальним способом терморегуляції гомойотермних організмів є збільшення теплопродукції шляхом спалювання поживних речовин. При зниженні температури в організмах цих тварин (особливо в м'язах) відбувається окиснення поживних речовин без виконання корисної роботи. У результаті майже вся енергія вивільняється у вигляді теплової. У ссавців навіть сформувалася спеціальна жирова тканина — бурий жир, запаси якого вони використовують лише для обігріву тіла. Такий процес вимагає значних відкладень поживних речовин чи інтенсивного харчування. Особливо це є актуальним для дрібних гомойотермних тварин через велику втрату тепла з поверхні тіла¹: землерийка вагою близько 10 г за добу з'їдає до 40 г харчу! З другого боку, такий спосіб терморегуляції не поширений серед тварин Півночі з огляду на обмеження харчових ресурсів у екосистемах.

¹Ця закономірність відома нам із правила Бергмана, про яке йшлося у § 6.



Рис. 8.5. Способи терморегуляції гомойотермних тварин

А. Збільшення товщини прип'їрного повітряного прошарку завдяки настовбурчуванню пір'я дозволяє краще зберігати тепло в холодну погоду. **Б.** Розповсюдженим способом охолодження в ссавців є випаровування води зі слизових оболонок дихальних шляхів і рота.

Основним терморегуляторним органом людини є її шкіра

Механізми терморегуляції людини схожі до таких у решти гомойотермних тварин. Як і всі тварини, людина поведінково намагається уникати несприятливих температурних умов. Тому для запобігання перегріву в багатьох південних країнах після полудня починається сіеста, коли люди намагаються не з'являтися під палючими променями сонця й не виконувати важку фізичну роботу. А за морозної й вітряної погоди ми тяжіємо до теплих обігрітих приміщень. Крім того, близько 100 тис. років тому людство почало використовувати шкіри ссавців для зігрівання. Із того часу одяг є основним рукотворним способом терморегуляції цивілізованих людей¹.

Але тіло людини здатне самостійно пристосовуватися до несприятливих температур, використовуючи механізми, подібні до таких у решти гомойотермних тварин. Так, у випадку переохолодження до шкіри людини притікає збільшена кількість крові, тому часто на морозі в людей рожевіють щічки. Також волосини шкіри, завдяки скороченню волосяних м'язів, піднімаються догори, що робить її «гусячою», і затримує більше повітря біля неї (рис. 8.6, А). Але якщо дія холоду не зменшується, то втрати тепла стають дуже суттєвими й організм «переглядає» стратегію, відкачуючи кров до внутрішніх органів завдяки звуженню шкірних капілярів. Шкіра при цьому стає блідою, натомість температура внутрішніх органів зберігається. За тривалої дії низької температури скелетні м'язи починають мимоволі скорочуватися — з'являється тремтіння. Таким чином організм намагається «добути» додаткове тепло, фактично «спалюючи» поживні речовини без виконання м'язової роботи.

За спекотної погоди або при нагріванні організму внаслідок інтенсивних фізичних навантажень найважливішим способом зниження температури є виділення поту шкірними залозами (рис. 8.6, Б). Його випаровування забирає значну кількість теплоти. Утім ефективність такого охолодження значною мірою залежить від вологості повітря. Якщо остання буде високою, то піт випаровуватиметься повільніше й охолодження йтиме гірше. Через це спеку в +40 °С легше переносити у сухому кліматі (наприклад, у Єгипті), ніж у вологому (наприклад, у Тайланді).

Окрім активного спитіння при перегріві, судини шкіри розширюються й до неї притікає більше крові. Тому часто люди червоніють після фізичних навантажень. Такий притік гарячої крові до шкіри дозволяє організмові сильніше випромінювати тепло в довкілля.

¹ Не можна також залишати поза увагою вогонь, кондиціонери й опалення, як популярні наразі способи штучної терморегуляції.

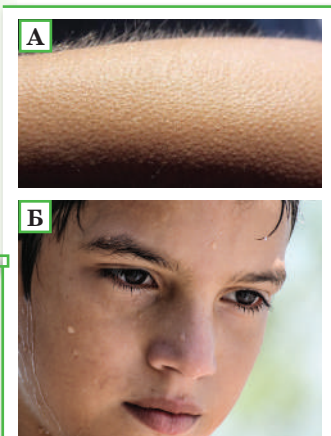
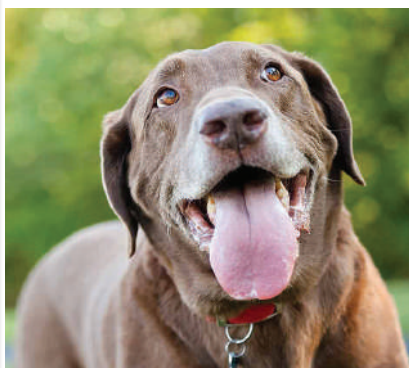


Рис. 8.6. Механізми терморегуляції в людини

А. «Гусяча» шкіра послаблює перемішування повітря біля поверхні шкіри. **Б.** Піт на обличчі підлітка після фізичного навантаження.

Пітніти чи не пітніти, ось у чому питання

Одним із найпоширенішим серед ссавців методів зниження температури тіла є випаровування поту з його поверхні. Але рівень розвитку потових залоз в окремих груп ссавців є різним: найбільше їх у шкірі копитних і приматів, мало в хижих, зайцеподібних і гризунів, а зовсім відсутні — у кротів, лінивців, хоботних і китоподібних. Кількість потових залоз у шкірі є адаптацією до умов середовища мешкання та способу існування. Гризуни, кроти й кити мешкають у вологих середовищах, де випаровування води з поверхні шкіри було б малоефективним, та й, крім того, саме середовище їхнього існування перегрівається лише в поверхневому шарі, який легко покинути. Також зменшення кількості поту, що виділяється гризунами й зайцеподібними, значно ускладнює їхнє знаходження хижакими: лисиця, проходячи повз відкриту схованку зайця,



не знаходить його, бо не відчуває запаху. Хижим тваринам запах поту теж не з руки — специфічний аромат може видати їхню схованку чи наближення задалегідь, і щаслива жертва встигне втекти. Лінивці ведуть настільки неспішний спосіб життя, що не перегріваються, та й живуть вони в затінку від листя. Крім того, їхнє хутро сприяє збереженню вологого й прохолодного повітря біля шкіри.

Як же тоді тварини, що не пітніють, охолоджують організм? Бегемоти, носороги й кабани, які також не мають потових залоз (тож коли хтось каже, що «потіє як свиня», то це означає, що він чи вона взагалі не пітніє!), ведуть наближений до води спосіб життя: вони завжди знайдуть калюжу, багнюку чи водойму, щоб охолодитися в спеку. Собаки охолоджуються, збільшивши частоту дихання й висунувши язик назовні — разом із повітрям зі слизових оболонок дихальних шляхів випаровується більше вологи. Коти облизують своє хутро, і слина виконує терморегуляторну функцію поту. Слони мають гігантські радіатори — вуха, проганяючи кров крізь які, вони охолоджують її. Подібну функцію виконує й оголений хвіст щурів. А от копитні тварини й примати здебільшого добре захищені від хижаків, тож можуть собі дозволити попінити, тікаючи навпростець!

Елементарно про життя

■ 1. Виберіть правильне твердження про вплив низької температури на організми.

А у прохолодних умовах пойкилотермні організми збільшують вироблення теплоти

Б узимку випаровування води рослиною зменшується

В тремтіння характерне комахам лише на холоді

■ **Г** під час зниження температури доквілля кількість крові в шкірі людини не змінюється

■ 2. Серед наведених груп організмів оберіть ту, в якій усі організми є гомойотермними.

А синій кит, страус, гібон **Б** єнот, колібрі, хамелеон

В восьминіг, акація, кабан **Г** ягуар, амеба, пінгвін

■ 3. Яка з реакцій, схеми яких наведено, може бути використана гомойотермними організмами для отримання теплової енергії?

А білок \rightarrow суміш амінокислот **Б** $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

В $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2$ **Г** нейтральний жир $+ \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

■ 4. Заповніть пропуски у твердженні, що ілюструє зміни кровопостачання шкіри людини на морозі.

Спочатку капіляри (1) задля нагрівання (2), але згодом (3), щоб зберегти тепло для (4).

А 1 – звужуються, 2 – шкіри, 3 – розширюються, 4 – внутрішніх органів

Б 1 – розширюються, 2 – шкіри, 3 – звужуються, 4 – внутрішніх органів

В 1 – звужуються, 2 – внутрішніх органів, 3 – розширюються, 4 – шкіри

Г 1 – розширюються, 2 – внутрішніх органів, 3 – звужуються, 4 – шкіри

■ 5. Увідповідніть спосіб терморегуляції й механізм, завдяки якому він впливає на температуру тіла.

1 потовиділення **А** виділення теплоти як побічного продукту хімічної реакції

2 настобурчуння пір'я **Б** зміна площі тіла, що контактує з доквіллям

3 робота м'язів **В** збільшення тепловтрат при окисненні поживних речовин

4 зміна пози **Г** збільшення теплоізоляційного прошарку повітря

Д витрата теплової енергії на випаровування води

У житті все просто

■ 6. Поясніть біологічне значення щільного скупчення верблюдів під час полуденної спеки.

■ 7. Як спосіб терморегуляції залежить від середовища, у якому існує організм?

У житті не все просто

■ 8. Як функціонує буре жирова тканина? Чому вона є найбільш розповсюдженою серед тварин, які впадають у сплячку?

■ 9. Деякі люди стверджують, що в спекотну погоду треба їсти більше солоного, щоб зменшити випаровування води. Спростуйте або підтвердіть це.

§ 9. Організм як середовище мешкання

Якщо тіло одного організму стає середовищем для життя другого, між ними виникає симбіоз

Властивості трьох, згаданих попередньо, середовищ зумовлені різною природою й інтенсивністю дії абіотичних екологічних факторів (факторів неживої природи). На відміну від них, властивості останнього, ще невивченого нами середовища мешкання, значною мірою залежать від живого компонента. Річ у тім, що останнє середовище — це організми інших живих істот, які залюбки заселяють представники різних груп: від бактерій до багатоклітинних тварин і рослин. Співіснування різних видів, що виникає в результаті, називають **симбіозом**¹. Надалі ми називатимемо більший організм, на якому оселяються — хазяїном, а того, хто оселяється — симбіонтом.

Організм як середовище має кілька особливостей. По-перше, місця для життя симбіонта не так багато, як у довкіллі: тіло має значно менші розміри. Тому, щоб поміститися, симбіонти мають бути менші за своїх хазяїв у кілька разів². По-друге, організм хазяїна не вічний і рано чи пізно загине. Отже, симбіонту потрібні шляхи заселення нових особин хазяїв. Найпростіший із них — породження великої кількості нащадків: нехай комусь із них пощастить знайти нового хазяїна. Так, зрілий бичачий ців'як продукує до 1,5 млн яєць щодня!

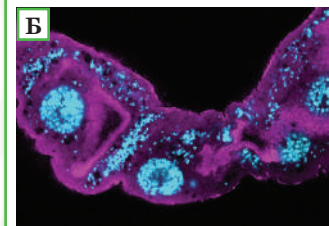


Рис. 9.1. Зовнішні та внутрішні симбіонти

А. Волосини трипалого лінвця слугують середовищем для оселення одноклітинних зелених водоростей.

Б. Бактерія вольбахія (блакитні крапки) оселяється в середині клітин комах (фіолетові).

Задля такої плодовитості симбіонти часто розмножуються нестатево, партеногенетично чи є гермафродитами. Другий шлях — це оселення в тих частинах тіла хазяїна, що забезпечують передавання симбіонта іншим особинам. Наприклад, соски матері є джерелом перших симбіотичних кишкових біфідобактерій, які немовля отримує з грудним молоком. А респіраторні віруси й бактерії розмножуються на слизовій оболонці органів дихання та легко поширюються з краплинками слини.

Якщо розглядати тіло організму як середовище, то в ньому є дві окремі зони для життя: ззовні (на поверхні) та всередині (рис. 9.1). Надалі ми проаналізуємо адаптації, що мають мешканці згаданих зон.

¹ Цей термін уживають як у значенні тісної взаємодії організмів кількох видів (вузьке розуміння), так і для позначення будь-якого співіснування організмів різних видів у екосистемі (широке розуміння), наприклад, хижацтва чи конкуренції. Детальніше про симбіоз у широкому тлумаченні йтиметься в § 21.

² Довжина бичачого ців'яка в кишківнику людини може сягати понад 10 м, що в 5 разів більше за її зріст. Утім об'єм його тіла менший за об'єм людського в кілька сотень разів.

Зовнішні симбіонти схожі на споріднені організми, що вільно проживають

Оселення ззовні тіла хазяїна насамперед вигідне тим, що організм симбіонта не втрачає контакт із навколишнім середовищем, тобто може безпосередньо обмінюватися з ним речовинами й енергією, а також вивільняти в нього нащадків. Але всі негативні дії з боку довкілля (переохолодження чи спека, нестача світла, підвищена вологість) симбіонт відчуватиме на собі, хоча часто й слабше, завдяки захисту організмом хазяїна. Наприклад, зелені водорості, що живуть на шерсті лінивця (рис. 9.1, А), забезпечені додатковою рідиною в період відсутності дощів, завдяки наявності на волосинах тріщинок і жолобків, у яких накопичується потрібна їм вода.

На зовнішнього симбіонта середовище впливає за аналогією до дії на види, що вільно проживають. І лише частина впливів пов'язана з хазяїном. Тому адаптації симбіонта (зовнішній вигляд і процеси життєдіяльності) подібні до тих, що мають споріднені до нього мешканці середовища, у якому живе хазяїн (рис. 9.2).

Значною проблемою зовнішніх симбіонтів є необхідність міцно триматися за тіло хазяїна, бо, відпавши, вони втрачуть своє звичне середовище життя. Для цього в симбіонтів розвинулися органи прикріплення (рис. 9.3).

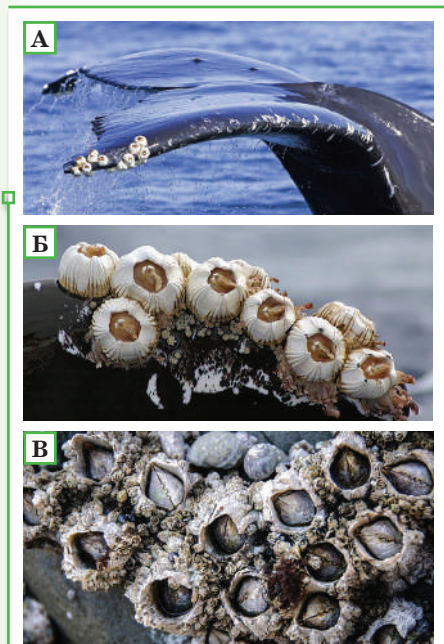


Рис. 9.2. Вусоногі раки (морські жолуді)

Симбіотичні китові морські жолуді (А і Б) є дуже схожими на своїх родичів, які прикріплюються до каміння (В).

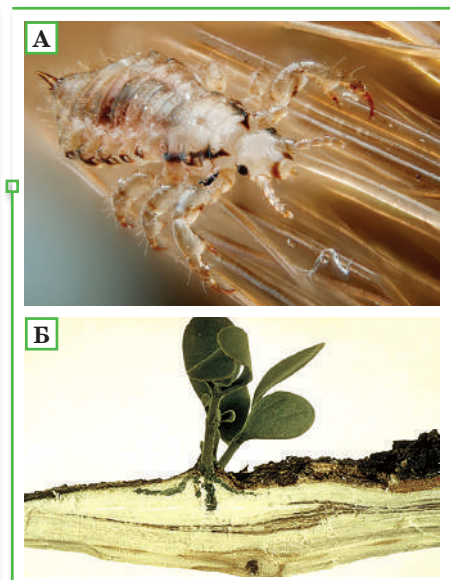


Рис. 9.3. Органи прикріплення зовнішніх симбіонтів

А. Гачечки на кінцівках воші дозволяють міцно триматися на волосі.

Б. Задля прикріплення й отримання води з мінеральними речовинами з рослини-хазяїна в омели є спеціальний корінь-присоска.

Внутрішні симбіонти часто мають спрощену будову

Оселення ж усередині набагато краще захищає від несприятливих умов зовнішнього середовища. Також в організмі, завдяки підтриманню сталості внутрішнього середовища, коливання екологічних факторів є набагато меншими, ніж поза ним. Але обмін речовинами й енергією тепер опосередковується хазяїном. Унаслідок симбіонт не завжди отримує необхідну йому кількість речовин, а поширення нащадків значно ускладнюється.

Крім того, чим складнішим є організм хазяїна, тим більше різноманіття органів зі своїми унікальними умовами він має. А це означає, що різноманіття екологічних ніш у ньому зростає. Тому покритонасінні рослини та ссавці мають найбільше різноманіття симбіонтів (рис. 9.4).

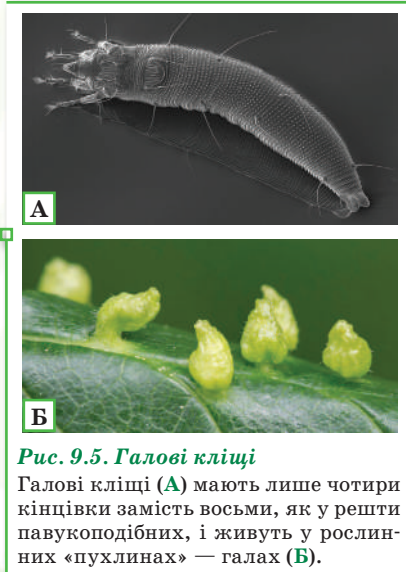
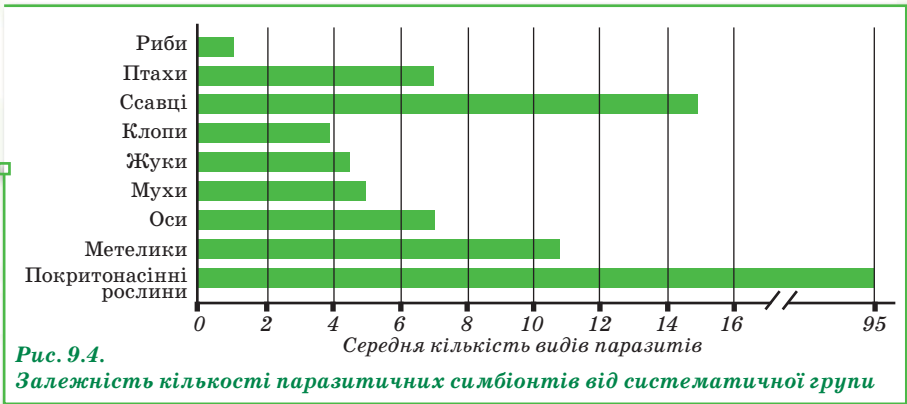


Рис. 9.5. Галові кліщі

Галові кліщі (А) мають лише чотири кінцівки замість восьми, як у решти павукоподібних, і живуть у рослинних «пухлинах» — галах (Б).

Оселення всередині організму хазяїна в захисті й достатку, часто спричиняє спрощення будови симбіонтів. Річ у тім, що умови навколо них завжди досить сталі. Тому зникає потреба активно реагувати на зміни навколишнього середовища. Наприклад, гельмінти мають спрощені органи чуття, а подекуди й нервову систему, часто втрачають травну систему. Усередині хазяїна немає хижаків, достатньо їжі, не потрібно активно переміщуватися в пошуку кращого місця. Галові кліщі, адаптуючись до таких однорідних умов, втратили дві пари кінцівок і дихальну систему (рис. 9.5). Також усередині більшості органів тіла зазвичай мало кисню, тому значна кількість симбіонтів перейшла до анаеробного типу дихання.

Симбіотичні відносини можуть бути корисними чи завдавати шкоди хазяїнові

Іще однією характерною рисою організму як середовища є протидія з боку хазяїна: якщо симбіонт завдає шкоди хазяїнові, то останній намагатиметься знищити чи позбутися першого. Залежно від зв'язків між хазяїном і симбіонтом вирізняють три типи симбіотичних відносин: мутуалізм, коменсалізм і паразитизм. Зрозуміло, що якщо симбіонт оселяється на чи в іншому організмі, то для нього це є вигідним, тобто має позитивний вплив на його виживання й розмноження (+). Щодо хазяїна, то для нього таке оселення також може бути корисним (+/+), тоді йде мова про **мутуалізм**¹ — взаємовигідне співіснування. Або воно може не впливати на його еволюційний успіх (+/0), тоді це **коменсалізм**² — співіснування, корисне для одного виду й ані шкідливе, ані корисне для іншого. Ну й, урешті-решт, заселення може завдавати шкоди хазяїнові (+/-), тоді виникає **паразитизм**³ — співіснування, корисне для одного виду, але шкідливе для іншого. В усіх випадках кінцеві відносини між видами є наслідком їхньої спільної коеволюції.

Мутуалізм дуже розповсюджений у живому світі

Оскільки мутуалістичне співіснування приносить усім користь, то зрозуміло, що з часом воно буде лише зміцнюватися. У результаті види можуть навіть утрачати змогу існувати нарізно. Так сталося, наприклад, із грибами в складі лишайників: гриб надає помешкання водорості чи ціанобактерії, затримує воду й вловлює неорганічні частинки (рис. 9.6, А). Фотосинтезувальний симбіонт натомість «ділиться»⁴ своїми поживними речовинами з грибом. Унаслідок цього гриб звик до мутуалізму настільки, що не може жити самостійно.

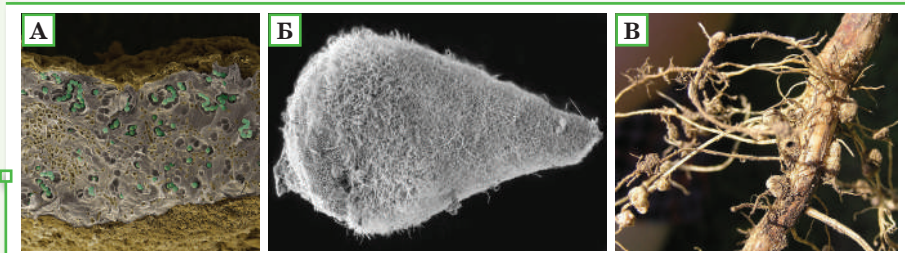


Рис. 9.6. Організми-мутуалісти

А. На електронній мікроскопічній перерізу тіла лишайника добре видно зелені клітини водорості й сірий міцелій гриба (розфарбовано штучно). **Б.** Джгутиковий одноклітинний еукаріот міксотріха рухається й живиться за допомогою симбіотичних бактерій на поверхні й у середині клітини. **В.** Бульбочки на корені люпину заповнені симбіотичними бактеріями-азотфіксаторами.

¹ Від лат. *mutual* — взаємний.

² Від лат. *com* — разом і *mensa* — трапеза.

³ Від грец. *parasitos* — дармоїд.

⁴ Насправді, гриб їх висмоктує. Окремі дослідники розглядають цей симбіоз як такий, що має риси паразитизму.

Так само джгутикові організми пристосувалися до мутуалістичного співіснування з рослиноїдними тваринами: проживаючи в захищеному середовищі травної системи хазяїна, симбіонти втратили здатність вільно жити. З іншого боку, і рослиноїди не можуть перетравлювати целюлозу, не маючи в собі мутуалістів, оскільки самі не володіють потрібними ферментами. Цікаво, що подекуди мутуалізм буває багаторівневим. Так, у кишківнику австралійських термітів живуть одноклітинні міксотріхи (рис. 9.6, Б), які втратили власні мітохондрії й отримують АТФ завдяки внутрішньоклітинним бактеріям-симбіонтам. Ще одним відомим прикладом мутуалізму є бобові рослини й азотфіксувальні бульбочкові бактерії у їхньому корінні, які вони підживлюють в обмін на синтезовані бактеріями сполуки Нітрогену (рис. 9.6, В).

Організми різноманітних груп здатні до коменсалізму, якщо це для них є вигідним

Для багатьох організмів тіло хазяїна стає просто поверхнею, на якій із певних причин вигідно жити. Якщо при цьому симбіонти ніяк не шкодять, але й не приносять користі, то виникає коменсалізм. Ось деякі приклади: бактерії та грибки на шкірі людини «гріються» завдяки нашій теплоті, а також використовують для своєї життєдіяльності речовини, що з'являються на шкірі. Орхідеї, лишайники й мохи оселяються на деревах, що дозволяє їм ефективно уникати поїдання рослиноїдними організмами, отримувати більше світла й менше конкурувати з іншими організмами (рис. 9.7). Китові морські жолуді (рис. 9.2, А, Б), мандруючи разом із хазяїном, отримують більше поживних речовин, ніж сидячи на камені. Таким чином коменсалізм сприяє виживанню виду-симбіонта й ніяк не змінює життя виду-хазяїна¹.



Рис. 9.7. Приклади коменсалізму

А. Орхідея на гілці дерева. **Б.** Мох на корі дерева.

¹ Деякі вчені вважають, що симбіонти завжди мають хоч і незначний, але вплив на життя хазяїв. Наприклад, морські жолуді погіршують обтічність тіла кита, а мохи на корі дерев слугують домівкою комахам, що захищають дерево від шкідників.

Елементарно про життя

- 1. Внутрішньоклітинні бактерії-паразити мають малі розміри через
А повільний обмін речовин **Б** намагання сховатися від імунної системи
В відсутність ДНК у їхніх клітинах **Г** обмежений об'єм клітини
- 2. Черв-симбіонт, що оселяється на шкірі корови, буде мати пристосування подібні до таких у
А ґрунтової личинки хруща **Б** гусені метелика
В водної личинки комара **Г** пуголовка
- 3. Прикладом мутуалістичної коадаптації є
А відповідність розміру кігтиків воші товщині волосини
Б червоне забарвлення вишень
В наявність в орхідеї повітряних коренів, що поглинають вологу з повітря
Г товстий теплоізоляційний шар жиру під шкірою кита
- 4. На світлині зображено рослиноїдного кліща (блідо-рожевий, під крилами), що переноситься мухою. Який тип співвідносин між цими організмами?
А паразитизм **Б** обов'язковий мутуалізм
В коменсалізм **Г** необов'язковий мутуалізм
- 5. Увідповідніть адаптацію та середовище мешкання, для організмів якого вона характерна.

1 висока плодовитість	А наземно-повітряне
2 копальні кінцівки	Б водне
3 здатність поглинати розчинений кисень	В ґрунтове
4 крила	Г інший організм



У житті все просто

- 6. У вигляді таблиці порівняйте умови середовища для зовнішніх і внутрішніх симбіонтів. На підставі здійсненого аналізу спробуйте з'ясувати, яким типом симбіонта бути краще.
- 7. Як мутуалізм може сприяти освоєнню нових екологічних ніш і пристосуванню до нових умов?
- 8. Поясніть, чому вусоні раки (морські жолуді), що мандрують, прикріпившись до тіла кита, отримують більше поживних речовин, ніж ті, що прикріплені до каменю.

У житті не все просто

- 9. Тривалий час у медицині панувала думка, що всі бактерії в організмі людини «погані» й спричиняють захворювання. Чому наразі цю точку зору не вважають слушною? Які наслідки відсутності чи зміни бактеріальної мікрофлори людини?
- 10. Чи існують ендосимбіонти-коменсали? Як часто такі відносини трапляються у природі? Як це можна пояснити?

§ 10. Паразитизм

Паразити є надзвичайно поширеною екологічною групою істот

Паразитизм — це співіснування організмів двох видів, коли один із них використовує другий тривалий час, як джерело їжі. Люди звикли, що паразит — це щось погане, що підлягає знищенню, бо через них інші живі істоти страждають і навіть гинуть. Можливо, така відраза й була причиною того, що вчені тривалий час уважали паразитизм досить рідкісним явищем у природі. Однак аналіз останніх десятиліть довів, що, насправді, паразитів дуже багато. Наразі вчені схиляються до кількості в 40–50 % від усіх біологічних видів, тобто майже кожен другий відомий науці вид, вочевидь, є паразитом!

Паразитизм як спосіб життя виникав у процесі еволюції багаторазово, тому поширений у різних систематичних групах (рис. 10.1). Як вам відомо з курсу біології попередніх років, усі віруси є внутрішньоклітинними паразитами. Паразитичних бактерій надивовижу небагато: лише близько 100 видів прокаріотів спричиняють хвороби в людини та ще кілька сотень видів паразитують у рослинах і тваринах. Одноклітинні еукаріоти мають у своєму складі кілька груп, у яких поширений паразитизм. Наприклад, усі апікомплекси, до яких належать малярійний плазмодій і токсоплазма, є паразитами. Паразитичні гриби спричиняють ураження й загибель як рослин, так і тварин.

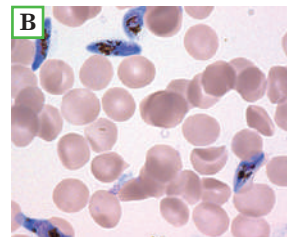
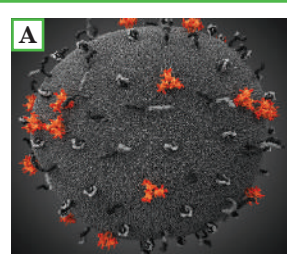


Рис. 10.1. Паразити із різних таксонів

А. ВІЛ. **Б.** Бактерії сальмонели. **В.** Малярійні плазмодії поміж еритроцитів. **Г.** Картопля, уражена паразитичним грибом фітофторою. **Д.** Вовчок сояшниковий висмоктує всі необхідні поживні речовини із коренів сояшника. **Е.** Блоха на шкірі людини. **С.** Мінога має гострі зуби для прогризання покривів риб.

Близько 4,5 тис. видів рослин перейшли до часткового чи повного паразитизму. Ба більше, деякі з них навіть втратили здатність до фотосинтезу й живляться гетеротрофно. Поміж тварин паразити є поширеними серед плоских черв'їв (сисуни, ціп'яки), нематод (аскарида, трихінела), молосків і особливо членистоногих (багато ос, воші, блохи, комарі, гедзі). Навіть у групі хребетних наявні паразити — це круглороті міноги й міксини. Отже, зі сказаного зрозуміло, що майже в усіх групах живих організмів є свої паразити.

Паразитизм може набувати різноманітних форм

Через значне розповсюдження паразитів у живій природі паразитизм за різних обставин чи умов набуває різноманітних форм (табл. 10.1).

Таблиця 10.1. *Форми паразитизму*

<i>За розташуванням паразита</i>	
ектопаразитизм	ендопаразитизм
зовні тіла хазяїна (кліщі, комарі, блохи)	усередині тіла хазяїна (гельмінти, стеблові нематоли)
<i>За виживанням хазяїна</i>	
біотрофний паразитизм	некротрофний¹ паразитизм
паразити харчуються живим хазяїном (малярійний плазмодій, мінога)	паразити вбивають хазяїна й живляться рештками (чумна паличка, паразитичні осі та гриби)
<i>За здатністю жити окремо від хазяїна</i>	
облігатний² паразитизм	факультативний³ паразитизм
паразити гинуть без зв'язку з хазяїном (воші, блохи, ціп'яки)	паразити можуть житися не на хазяїнові (хижі п'явки, сальмонели)
<i>За постійністю проживання на хазяїнові (форми облігатного паразитизму)</i>	
постійний (стаціонарний) паразитизм	тимчасовий (періодичний) паразитизм
усе життя проводять у контактi з хазяїном (блохи, аскариди, паразитичні рослини)	контактують із хазяїном час від часу для живлення (комарі, гедзі)

Варто зазначити, що основна відмінність між факультативним і тимчасовим паразитизмом полягає в тому, що факультативні паразити можуть житися незалежно від хазяїна, тоді як тимчасові — винятково на хазяїнові. Факультативний паразит велика псевдокінська п'явка полює на дрібних безхребетних тварин і личинки комах, але якщо потрапляє на тіло амфібії чи дрібної риби, то починає висмоктувати кров, переходячи до паразитичного живлення. Самки ж комарів як представниці тимчасових (періодичних) паразитів живляться лише кров'ю хребетних тварин. Але не живуть постійно на тілі хазяїв, а лише прилітають для поживи.

¹ Від. грец. *nekros* — мертвий і *trophe* — їжа.

² Від лат. *obligatus* — обов'язковий.

³ Від лат. *facultatis* — можливість.





Рис. 10.2. Особливі форми паразитизму

А. Воду та мінеральні речовини напівпаразит дзвінець отримує завдяки паразитуванню на корінні злакових рослин. **Б.** Більшість їздців є паразитоїдами, що відкладають яйця у яйця, личинки й дорослих особин інших комах. **В.** Гіперпаразитична оса лісибія відкладає яйця в лялечки паразитоїдної оси котезії, які розвивалися в гусениці метелика білана.

Окрім зазначених у таблиці форм паразитизму, є ще кілька спеціалізованих (рис. 10.2). Перша з них — це **напівпаразитизм**. Така форма характерна для рослин, що отримують лише деякі речовини із тіла хазяїна, зазвичай іншої рослини. Омела чи дзвінець використовують другі рослини для отримання мінеральних речовин і води, але при цьому самостійно здійснюють фотосинтез, синтезуючи органічні речовини. Іншою особливою формою паразитизму є **паразитоїдність**. За неї паразитоїд використовує хазяїна лише деякий час на личинковій стадії, спричиняючи його загибель. Більшість паразитоїдів належить до ряду Перетинчастокрилі — переважно це їздці та оси. Наступна унікальна форма паразитизму — **гіперпаразитизм**. Він проявляється, коли один паразит паразитує на другому. За такої умови в деяких екосистемах кількість рівнів гіперпаразитів може сягати чотирьох! Гіперпаразити є як серед вірусів, так і серед одно- та багатоклітинних організмів.

Хазяї щосили захищаються від паразитів

Зрозуміло, що хазяїну паразит не приносить великого задоволення. Тому він намагається ефективно захищатися від нападника. У більшості організмів є певні хімічні механізми, що перешкоджають розвитку чи знищують паразита. У тварин за це відповідає імунна система, яка розпізнає, маркує та вбиває його або знищує (рис. 10.3, А) (детальніше про імунну систему йтиметься у § 38). Подібні механізми є й у рослин: вони виробляють активні форми Оксигену та спеціальні речовини, що атакують клітини паразита. Хвойні рослини виділяють смолу, що блокує проникнення шкідників до стовбура —

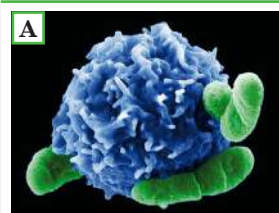


Рис. 10.3. Захисні механізми хазяїв

А. Клітина-кілер імунної системи захоплює бактерії для знищення (штучні кольори).

Б. У відповідь на поселення личинки комахи на пагоні верби сформувався гал.

паразити просто застрягають у ній. У разі пошкодження покривів насінні рослини утворюють легкі фітонциди, що мають протигрибкову й антибактеріальну дію. Крім того, рослини й тварини можуть ізолювати паразита, перешкоджаючи його поширенню й живленню. Для цього в рослин потовщуються клітинні стінки й формуються гали (рис. 10.3, Б), а в тварин — капсули навкруг паразитів. Цікаво, що іноді навіть перлини двостулкових моллюсків формуються навколо личинок плоских червів.



Рис. 10.4. Кордицепс
Плодове тіло гриба проростає за рахунок поживних речовин трупа мурахи.

Поселення паразита може змінювати поведінку хазяїна

Часто паразит змінює поведінку хазяїна, роблячи його фактично своїм рабом. Наприклад, гриб кордицепс примушує свого хазяїна мураха тікати з мурашника, дертися на рослину, закріплюватися щелепами на листку й вмирати. А сам після цього утворює плодове тіло, яке завдяки підвищенню, на яке вилізла мураха, розсіює спори на значно більші відстані (рис. 10.4). Токсоплазма робить щурів безстрашними, і вони швидше гинуть у лапах спритного kota, який, поїдаючи їх, заражається й сам. Личинки ос у тілі хазяїв здатні не тільки пригнічувати його імунітет, але й стимулювати ненажерливість, забезпечуючи себе додатковими порціями їжі. Але й хазяї змінюють свою поведінку задля захисту. Наприклад, шимпанзе, заражені глистами, частіше споживають рослини, що містять отруйні для паразитів речовини. А тварини з ектопаразитами інтенсивніше чешуться чи труться, механічно скидаючи паразитів зі своїх покривів.

Паразити мають спеціальні пристосування для паразитування

Паразити, як і решта симбіонтів, стикаються з уже відомими нам із попереднього параграфа проблемами з розмноженням і вирішують їх, як було описано раніше. Крім того, значна частина ендopазитів має личинкові або нестатеві стадії, що паразитують в інших, проміжних, хазяях (рис. 10.5, А). Такі складні життєві цикли забезпечують вищу ймовірність зараження остаточного хазяїна. Ендopазитам властиве спрощення будови тіла й утрата окремих органів і навіть

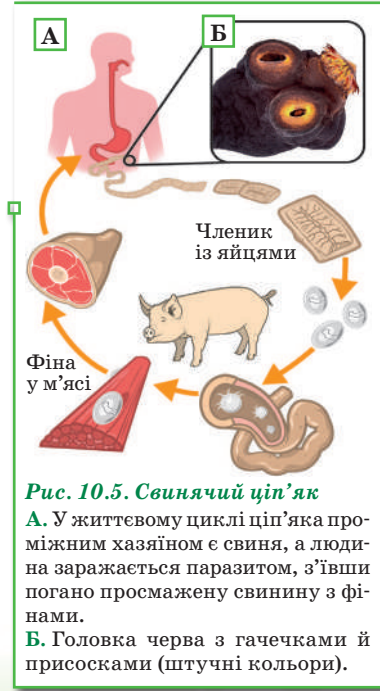


Рис. 10.5. Свинячий ціп'як
А. У життєвому циклі ціп'яка проміжним хазяїном є свиня, а людиною заражається паразитом, з'ївши погано просмажену свинину з фінами.
Б. Головка черва з гачечками й присосками (штучні кольори).



Рис. 10.6. Збільшення розміру кліща внаслідок паразитування

систем: багато глистів, що живуть у кишківнику, залишилися без травної системи й всмоктують уже перетравлені людиною чи твариною речовини поверхнею тіла. Також їм властива наявність органів прикріплення (рис. 10.5, Б): гачків і присосок, які забезпечують утримання в потоці речовин кишківника, та посилена будова ротового апарату (рис. 10.1, Є) або інших структур, що необхідні для пробивання покривів. Окрім того, у тимчасових паразитів часто розростається травна система для того, щоб надовго накопичувати харч і не повертатися до хазяїна часто (рис. 10.6).

На особливу увагу заслуговують адаптації ендopазитів для протидії захисним механізмам хазяїна. Деякі паразити (як-от нематоди) пішли шляхом, подібним до того, що використовують хазяї для захисту від зовнішніх паразитів: вони мають товсті покриви, які їх боронять. Інші ж виробили цілі захисні комплекси, що не дозволяють розпізнавати чи атакувати паразитів. А ВІЛ узагалі паразитує в клітинах імунної системи, спричиняючи імунодефіцит. Класомовним у цьому плані є приклад малярійного плазмодія. Через його розвиток в еритроциті, той змінює свою форму, а тому легко відбраковується, як неправильний, у селезінці. Щоб запобігти цьому, плазмодій формує на поверхні еритроцита вузлики, завдяки яким еритроцит прилипає до стінок судин і не потрапляє до селезінки. Ці вузлики побудовані з різних білків у неоднакових малярійних плазмодіях, що не дозволяє імунній системі виробити ефективний імунітет проти всіх одночасно. Таким чином, підходи паразитів до захисту від знищення з боку хазяїна є не менш різноманітними, ніж самі механізми знищення.

Сталість екосистем підтримується завдяки паразитам

Основним екологічним значенням паразитизму є регуляція чисельності популяцій. Без паразитів кількість особин у популяції різко б зростала, спричиняючи виснаження ресурсів і ймовірну загибель популяції. А паразити, зменшуючи виживання деяких особин популяції, виконують функцію регулятора чисельності. Ба більше, через те, що найчастіше паразити уражають слабших особин, вони працюють як фактор природного добору, підвищуючи загальну витривалість популяції. А це, своєю чергою, призводить до природного добору серед паразитів, спрямованого на підвищення ефективності зараження. І все починається знову відповідно до вже відомого нам принципу Чорної Королеви.

Ще однією роллю паразитів є протидія вторгненню конкуруючих видів до екосистеми. Так, наявність збудника сонної хвороби — трипаносоми — у популяціях Центральної Африки не дозволила поселитися там європейській рогатій худобі. Завезені жуйні тварини, на відміну від місцевих антилоп, не мали імунітету до трипаносоми й швидко гинули після переселення до Африки.

Зіржавіла пшениця? Вирубати барбарис!

Лще в III – IV ст. до н.е. Аристотель і його учень Теофраст («батько» ботаніки) описували появу іржі на стеблах і листках злаків (рис. А), уважаючи її наслідком «опіків» сонячними променями, сфокусованими краплями роси, за сприяння теплоти Місяця. У давніх греків був навіть бог іржі на рослинах — Рорбіго, для отримання поблажливості якого й відвернення іржі від злаків навесні здійснювали жертвоприношення! Пліній Старший уважав іржу найбільшим лихом для злаків через колосальні втрати врожаю. Лише у XVIII ст. стало зрозуміло, що причиною іржі є паразитичний іржаний гриб. Уже тоді допитливі природодослідники помітили, що кущі барбарису також страждають від подібної хвороби, якщо поряд є злаки, й навпаки. Це спостереження стало причиною появи у 1760 році в британській колонії Массачусетс (майбутній штат у складі США) законодавчого акту про винищення всіх кущів барбарису: хліб оберігали ціною відмови від барбарисового варення!

Річ у тім, що барбарис є проміжним хазяїном у складному життєвому циклі збудника лінійної іржі злаків. На верхньому боці листка рослини утворюються спермації, які запліднюють бурі сперматогонії на інших листках із утворенням двоядерної стадії. Ця стадія за 2–5 днів проростає на нижньому боці листка у вигляді білувато-жовтих ецій, із яких висипаються еціоспори (рис. Б). Останні переносяться на стебла й листки остаточних хазяїв — злаків, де з них виростають іржасто-бурі лінійні урединії з усе ще двоядерними урединіоспорами. Цей вид спор може заражати інші рослини злакових, що ростуть поряд.

Наприкінці літа в урединіоспорах відбувається запліднення (нарешті!) і формуються чорні диплоїдні телії з теліоспорами. Ці спори зимують на рештках злаків (стерні) і після весняного мейозу проростають у чотирьохклітинні базидії з одноклітинними безбарвними базидіоспорами (це останній, п'ятий вид спор!). Вони переносяться на барбарис і цикл починається знову. (Якщо ви дочитали до цього місця і все зрозуміли, ми пишаємося вами, бо це, мабуть, найскладніший життєвий цикл із відомих авторському колективові!)

Подивитися, який вигляд мають різні стадії під мікроскопом, ви можете на інтерактивній схемі життєвого циклу гриба.



Рис. А. Стебло пшениці з урединіями.

Рис. Б. Листок барбарису зі сперматогонієм (унизу) й ецієм (угорі).



Елементарно про життя

■ 1. Серед наведених представників живого світу оберіть того, який НЕ є паразитом.

- А** вірус поліомієліту **Б** кімнатна муха
В медична п'явка **Г** дизентерійна амеба

■ 2. Для ураження клітин вірусом гепатиту D необхідна наявність у мембрані білків вірусу гепатиту В. Зважаючи на це, вірус гепатиту D є

- А** факультативним паразитом **Б** гіперпаразитом
В паразитоїдом **Г** ектопаразитом

■ 3. Поява численних вузликів на корінні (*див. рис.*) може бути спричинена

- А** укусами кротів
Б проникненням нематоди
В нестачею Фосфору в ґрунті
Г посухою

■ 4. Імунодефіцит, який спричиняє ВІЛ, є адаптацією до

- А** протидії знищенню з боку хазяїна
Б ефективного розмноження

В перенесення вірусу між організмами хазяїв

Г забезпечення вірусу поживним речовинами

■ 5. Увідповідніть організм і форму його паразитизму.

- | | |
|-------------------|------------------------------------|
| 1 кишкова паличка | А ектопаразитизм |
| 2 їздець | Б факультативний паразитизм |
| 3 кордицепс | В некротрофний паразитизм |
| 4 іксодовий кліщ | Г паразитоїдність |
| | Д гіперпаразитизм |



У житті все просто

■ 6. Для кількох паразитів визначте характерні для них форми паразитизму.

■ 7. Паразитоїдність за своєю природою дуже подібна на хижацтво. Порівняйте ці два типи взаємодії організмів. У чому полягають принципові відмінності між ними?

■ 8. Чому навіть маючи найдосконаліші адаптації, спрямовані на захист від паразитів, популяції хазяїв не можуть повністю їх позбутися?

У житті не все просто

■ 9. У науковому світі відомі приклади, коли потрапивши до нової екосистеми, паразит спричинив вимирання кількох інших видів у ній. Чому так сталося? Чим схожа така ситуація на захопленням ринків новими гаджетами?

■ 10. У людської аскариди проміжним і остаточним хазяїном є людина. Які переваги й недоліки такої життєвої стратегії, коли один організм виступає в ролі обох хазяїв?

Практична робота

Визначення ознак адаптованості різних організмів до середовища мешкання

Мета: навчитися визначати життєві форми організмів і форми симбіозу, розвинути вміння виявляти адаптації організмів, узагальнити знання про зв'язок між пристосуваннями організму, умовами його існування й життєвою формою.

Обладнання: гербарні зразки рослин, мікропрепарати, вологі препарати, колекції й опудала тварин, фотографії й малюнки живих організмів.

Хід роботи

■ 1. Для кожного середовища запишіть відомі вам життєві форми рослин і тварин, а для організмів середовища — форми симбіозу.

Середовище мешкання	Група організмів	Життєві форми / Форми симбіозу
Наземно-повітряне	<i>Рослини</i>	
	<i>Тварини</i>	
Водне	<i>Рослини</i>	
	<i>Тварини</i>	
Ґрунтове		
Інші організми		

■ 2. Розподіліть запропоновані організми за середовищами мешкання, у яких вони живуть, та визначте життєві форми чи форми симбіозу, характерні для них.

Середовище мешкання	Організм	Життєві форми / Форми симбіозу
Наземно-повітряне		
Водне		
Ґрунтове		
Інші організми		

■ 3. Для кількох організмів різних середовищ опишіть наявні в них адаптації до середовища мешкання та їхню пристосувальну мету.

Організм	Адаптація	Пристосувальна мета адаптації

■ 4. У висновку проаналізуйте зв'язок між адаптаціями організму, умовами середовища та життєвою формою чи формою симбіозу.

§ 11. Біологічні ритми

Біологічні ритми в живій природі зумовлені низкою причин

Важливою властивістю біологічних систем є циклічність процесів, що відбуваються в них: клітини бактерії діляться кожні 20 хвилини, серце людини в стані спокою робить один удар кожні 0,8 секунди, продиhi кактусів відкриваються щонаочі, листя опадає з дерев жоосені тощо. Такі періодичні зміни біологічних процесів називають **біологічними ритмами**. Вони проявляються на всіх рівнях організації живого: від молекулярного до біосферного.

Причин ритмічності кілька: по-перше, процес не може початися знову, доки не завершено попередній. Наприклад, молекула ферменту мальтази буде періодично розщеплювати молекулу мальтози, але лише після завершення попереднього етапу розщеплення. По-друге, новий процес може розпочатися лише тоді, коли біологічна система буде до нього готовою. Поділ клітин ростового шару епітелію шкіри починається лише після завершення реплікації ДНК і накопичення білків, що братимуть участь у ньому. А нерест риб починається після нагулу — запасання достатньої кількості поживних речовин. По-третє, періодичність є адаптацією до циклічних змін у навколишньому середовищі, наприклад, добової (сон) чи сезонної (цвітіння підсніжників) змін умов існування. Такі періодичні зміни отримали назву **адаптивні біологічні ритми**.

Внутрішні та зовнішні біологічні ритми відрізняються причиною

Усі біоритми за причиною їхньої появи поділяють на дві групи: внутрішні й зовнішні (рис. 11.1). Внутрішні ритми пов'язані зі змінами у функціонуванні органів і їхніх систем. Зазвичай, змінити частоту цих процесів дією зовнішніх факторів можливо лише в незначних межах або взагалі не можливо. Внутрішні біоритми — це, наприклад, частота серцебиття, чергування вдиху й видиху, зміна сну й бадьорості, коливання артеріального тиску протягом доби тощо. Вони залежать від процесів усередині організму. Зовнішні ж біоритми пов'язані

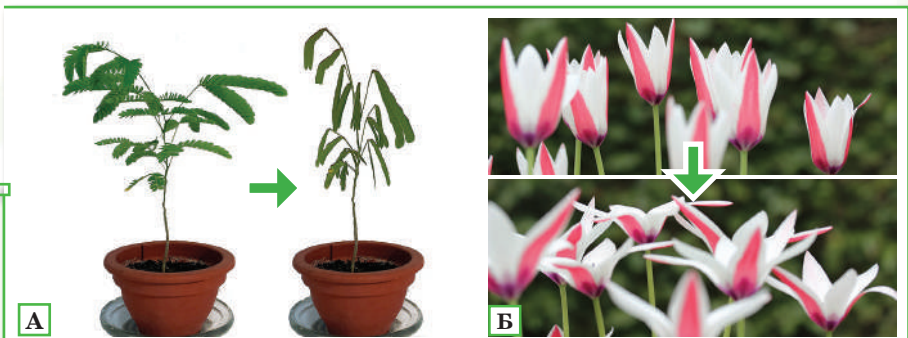


Рис. 11.1. Внутрішні й зовнішні біоритми

А. Листя мімози піднімається вдень (ліворуч) й опускається вночі (праворуч) навіть у темному приміщенні зі сталою температурою, що є прикладом внутрішнього біоритму. **Б.** Оцвітіння тюльпана розкривається при зміні навколишньої температури з холодної (вгорі) на теплу (внизу).

з періодичними процесами в навколишньому середовищі: зі зміною температури вдень і вночі, зміною пори року тощо. Внутрішні й зовнішні біоритми легко відрізнити в досліді зі сталими умовами: якщо в довкіллі немає змін, а біоритм зберігається, то його вважають внутрішнім, а якщо зникає — то це зовнішній ритм. Наявність багатьох внутрішніх біоритмів пов'язана з існуванням **біологічного годинника** в живих організмах: молекулярної системи, у якій концентрація речовин коливається з певним періодом, призводячи до фізіологічних змін у організмі¹.

Періодичність адаптивних біоритмів залежить від частоти змін у навколишньому середовищі

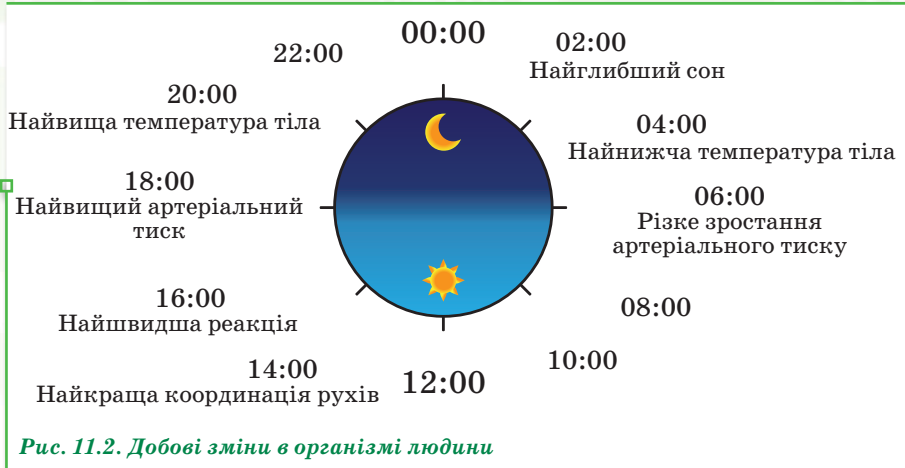
Адаптивні біологічні ритми збігаються за періодичністю з процесами в довкіллі (табл. 11.1). Дуже розповсюдженими є **добові біоритми**, що мають періодичність, близьку до 24-х годин. Найбільший прояв вони мають у моменти активізації процесів життєдіяльності денних (бабки, мурахи, гуси) і нічних тварин (таргани, сови, кажани) у відповідний час. У рослин протягом доби можуть змінюватися положення листя, розкриватися квіти, рухатися суцвіття. У людини із періодом у 24 години змінюється активність нервової системи, ефективність розумової діяльності, температура тіла, артеріальний тиск тощо (рис. 11.2). Залежно від добового біоритму активності виділяють три основні хронотипи²: «жайворонки» — рано прокидаються та лягають спати й активні в першій половині дня, «сови» — пізно прокидаються та лягають спати й активні ввечері й «голуби» — активні протягом усього дня.

Таблиця 11.1. Адаптивні біологічні ритми

Біологічний ритм	Зовнішній періодичний процес	Приклади
Добовий	Обертання Землі навколо своєї осі	Розкривання й закривання суцвіть кульбаби, зміна активності нервової системи в людини
Припливно-відпливний	Обертання Місяця навколо Землі й Землі навколо своєї осі	Закривання й розкривання стулочок молюсків у припливно-відпливній зоні, закопування безхребетних тварин у дно
Місячний	Обертання Місяця навколо Землі	Розмноження багатоцетинкових червів у визначену фазу Місяця
Сезонний (річний)	Обертання Землі навколо Сонця	Зацвітання каштанів, зміна кольору хутра в зайців
Багаторічний	Зміна сонячної активності, циклічні зміни клімату	Підвищення врожайності жита кожні 11 років, масове розмноження лемінгів щоп'ять років

¹ За відкриття молекулярного механізму біологічного годинника в плодової мушки Джеффри Голл, Майкл Росбаш і Майкл Янг отримали Нобелівську премію з фізіології або медицини в 2017 році.

² Від грец. *chronos* — час і *typos* — зразок.



Припливно-відпливні ритми проявляються в зоні припливів і відпливів, що відбуваються двічі на добу¹. Фактично, під час приливу ділянка дна є частиною водного середовища, а під час відпливу — наземно-повітряного й ґрунтового. Внаслідок відтоку води, організми, що там живуть, залишаються без захисту від тварин наземно-повітряного середовища, які прилітають поживитися ними. Організми ж товщі води здебільшого відносяться разом із відпливом. У результаті чотири рази на добу в зоні припливів і відпливів змінюється вся екосистема: там з'являються й зникають організми!

Значна кількість змін у зовнішньому вигляді, фізіологічних процесах і поведінці тварин пов'язана зі зміною пори року. Це **сезонні**, або **річні** біоритми. Рослини й тварини ростуть, розмножуються, утворюють нащадків протягом найсприятливіших періодів у році. Процеси життєдіяльності змінюються залежно від сезону: узимку ведмеді впадають у сплячку, сповільнюючи свій метаболізм, а влітку активно рухаються, підтримуючи високий рівень обміну речовин. Так само й поведінка тварин залежить від пори року: вони мігрують, будують житло, шукають партнерів для спарювання у відповідний сезон. Річні біоритми дозволяють організмам уникати несприятливих умов і максимально ефективно використовувати сприятливі.

Через 11-річний цикл зміни сонячної активності спостерігаються **багато-річні цикли** збільшення продуктивності рослин, що призводять до зростання чисельності популяцій рослиноїдних тварин і хижаків. Крім того, клімат деяких регіонів має циклічний характер із різним періодом коливань, і в найбільш вологі чи теплі роки зростає врожайність рослин чи сприятливість умов для тварин. Наприклад, водяні щури Західного Сибіру мають 11-річний цикл збільшення чисельності, що пов'язано з періодичним зростанням вологості цих регіонів, а конюшина — 4-5-річні цикли зростання чисельності.

¹Період між двома припливами чи двома відпливами складає 12 годин 25,2 хвилини, тобто два припливи й два відпливи насправді тривають 24 години 50,4 хвилини.

Здатність до фотоперіодизму готує організми до майбутніх умов

Для реалізації річних біоритмів важливою є здатність організмів «заглядати в майбутнє», передбачаючи зміни умов середовища найближчим часом. Річ у тім, що зі зміною пори року повинні ставати іншими й життєві процеси. Але така перебудова потребує часу, тому організмам зручно «знати» заздалегідь, коли починати підготовку до нових умов. Найкращим параметром, що вказує на пору року, є зміна тривалості світлового дня. На відміну від температури, кількості опадів чи вологості довжина світлового дня у визначений день року в цій місцевості завжди має однакове значення, тому слугує гарним «природним календарем». Реакцію організмів на зміну тривалості світлового дня називають **фотоперіодизмом**¹. Фотоперіодизм є характерним для видів, що виникли в умовах значних сезонних змін у навколишньому середовищі. Тому в багатьох тропічних рослин, на відміну від більшості представників помірною клімату, фотоперіодизм менше виражений, а періоди росту листків, цвітіння й плодоношення збігаються.

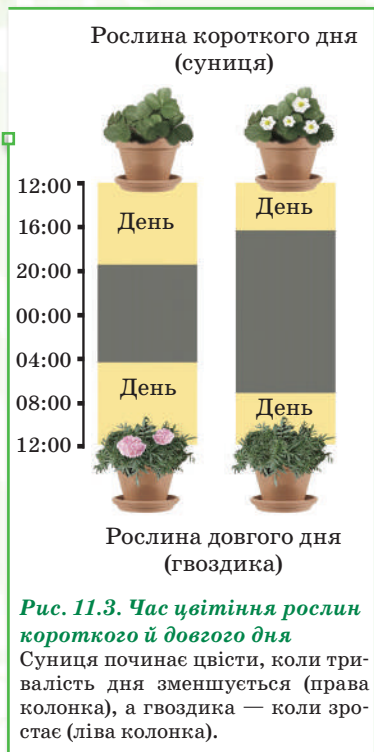
Короткоденні й довгоденні організми відрізняються тривалістю світлого дня, за якої вони розмножуються чи переходять у стан спокою

За типом фотоперіодичної реакції виділяють три основні групи істот: короткого дня, довгого дня й нейтральні до зміни його довжини (табл. 11.2, рис. 11.3). Рослини короткого дня починають цвісти, коли тривалість світлового дня починає зменшуватися: наприкінці літа та восени. Здебільшого ці організми є розповсюдженими в широтах із теплим і дощовим кліматом, де весна й літо характеризуються великою спекою, тоді як восени й узимку там багато дощів. Із метою пристосування до таких умов рослини короткого дня розвиваються й розмножуються, коли день стає коротшим. Рослини ж довгого дня цвітуть за великої тривалості світлового дня, оскільки це найсприятливіший період у році. Коли довжина дня починає зменшуватися, вони переходять до стану спокою,

Таблиця 11.2. Поділ організмів за типом фотоперіодичної реакції

Група організмів	Початок цвітіння чи розмноження	Перехід у стан спокою	Приклади
Організми короткого дня	За короткого світлого дня (10-11 год.)	За довгого світлого дня	Конопля, тютюн, рис; тувовий шовкопряд
Організми довгого дня	За довгого світлого дня (13-14 год.)	За короткого світлого дня	Овес, картопля, салат; колорадський жук, лелеки
Фото-періодично нейтральні	Не залежить від тривалості світлового дня	Не залежить від тривалості світлового дня	Огірки, томати; муха цеце

¹ Від грец. *photos* — світло і *periodos* — шлях довкола.



скидають листя або частково відмирають. Для таких рослин найхарактернішими регіонами походження є помірні й приполярні широти.

Тривалість світлового дня впливає й на тварин. Здебільшого вони сприймають довжину дня завдяки очам і поверхні тіла. Улітку більшість комах помірних широт, як представників тварин довго дня, активно харчуються, ростуть і розмножуються. А восени ціпеніють. Навесні ж, зі збільшенням довжини дня, із яєць розвиваються личинки, а дорослі організми знову паруються. До речі, значний внесок у вивчення фотоперіодизму в комах зробив ентомолог українського походження Олександр Данилевський. Для перелітних птахів зменшення тривалості дня є сигналом для підготовки до відльоту в теплі краї, а збільшення — до побудови гнізд і залицання. Таким чином, рослини й тварини мають спадково закладені програми реагування на зміну тривалості дня, що забезпечує їхнє краще пристосування до сезонних змін у природі.

Інформацію про тип фотоперіодичної реакції використовують у сільському господарстві. Якщо знати, за якої тривалості доби ріст рослини чи тварини є найкращим, то, за умови вирощування на закритому ґрунті¹ чи розведення в приміщенні, можна підлаштувати освітлення так, щоб продуктивність сорту рослин чи породи тварин була максимальною (рис. 11.4).



Рис. 11.4. Використання знань про фотоперіодизм

Збільшуючи тривалість світлового дня за рахунок штучного освітлення, можна збільшувати швидкість росту рослин у теплиці (А) чи яйценосність курей (Б).

¹ Тобто вирощування в приміщенні, не під відкритим небом.

Елементарно про життя

■ 1. Сергій навчається в першу зміну, і йому найлегше розв'язувати вправи з алгебри, коли вона стоїть у розкладі на перших чотирьох уроках. Увечері він швидко втомлюється й лягає спати о 10-тій годині. Який хронотип має хлопець?

А «жайворонок» **Б** «голуб» **В** «сова» **Г** «яструб»

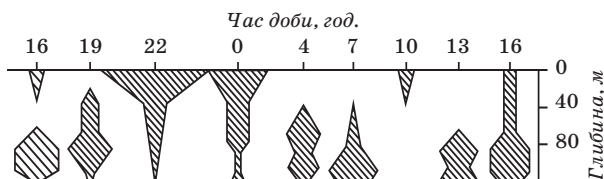
■ 2. Розгляньте схему добових вертикальних міграцій рослиноїдного веслоного рачка. Яка з причин може бути поясненням його поведінки?

А уночі на поверхні менше водоростей

Б удень на глибині вода тепліша

В удень на глибині рачки менш помітні

Г уночі на глибині немає хижаків



■ 3. Фотоперіодизм у живих організмів забезпечує

А здатність змінювати життєдіяльність відповідно до пори року

Б зміну положення листків щодо висоти сонця над горизонтом

В зміну пори року

Г можливість реагування на зміну інтенсивності фотосинтезу

■ 4. Увідповідніть приклад біоритму із його типом.

1 листопад

2 збільшення врожаю жолудів

3 розмноження бермудського вогняного черва в період молодого Місяця

4 обертання листків ребром до сонця під час денної спеки

А добовий біоритм

Б припливно-відпливний біоритм

В місячний біоритм

Г річний біоритм

Д багаторічний біоритм

У житті все просто

■ 5. Поясніть біологічне значення кожного типу адаптивного біоритму.

■ 6. Наведіть приклади сезонних біоритмів у людини. Доведіть, що вони мають адаптивне значення.

У житті не все просто

■ 7. Місячні біоритми поширені в гідробіонтів і майже не зустрічаються в наземних організмів. Якими можуть бути причини такого вибіркового впливу Місяця?

■ 8. Чому на *рис. 11.4*, А теплиця освітлюється пурпуровим світлом? Поясніть вибір кольору освітлення як з біологічної, так і з економічної точки зору.

Проект для дружної компанії

■ 9. За допомогою кількох різних тестів визначте власний хронотип. Обговоріть результати з друзями і виберіть найкращий тест на визначення хронотипу. Запропонуйте за допомогою цього тесту визначити хронотипи ваших однокласників і однокласниць, вчителів і вчительок.



ЕКОЛОГІЯ

§ 12. Екологія як наука

Екологія — комплексна наука про взаємодію живої й неживої природи та людина

Тривалий час природодослідників цікавили організми, їхня будова, функціонування та різноманіття. І лише у XIX ст. учені почали приділяти увагу взаємодії організмів із їхнім оточенням. Усі знання в цій галузі згодом об'єднала **екологія**¹ — біологічна наука про взаємодію організмів і їхніх угруповань між собою та з навколишнім середовищем. Часто в побуті можна почути про «погану екологію», «вплив екології на людей», коли термін «екологія» вживається в значенні «навколишнє середовище» чи навіть «чистота навколишнього середовища». Таке використання терміна є некоректним. Варто пам'ятати, що екологія — це наука, а довкілля — один із об'єктів її дослідження.

Останнім часом у поняття «екологія» почали включати й вивчення проблем впливу людини на довкілля, ефективного використання та охорони навколишнього середовища. Питання взаємодії людини, суспільства й природи наразі актуалізувалися тому, що в другій половині XX ст. стало зрозумілим, що людство є найпотужнішою екологічною силою в природі. Таке розширення робить екологію надзвичайно об'ємною, міждисциплінарною наукою. Утім, більшість зарубіжних науковців вважає, що ці питання є предметом вивчення окремої галузі — **науки про довкілля** (environmental science). У вітчизняній практиці ними займається **прикладна екологія** (рис. 12.1). Зрозуміло, що вона використовує знання **класичної**, або **біологічної екології**, але ґрунтується й на здобутках наук про Землю, фізики, хімії, соціології, гігієни тощо. Об'єднання біологічної та прикладної екології утворює **сучасну екологію**, або **панекологію**, що вивчає будову, функціонування й взаємозв'язки багатокомпонентних систем із елементів живої й неживої природи та діяльності людини.

Екологія вивчає взаємовпливи організмів і довкілля

Далі в цьому розділі, говорячи про екологію, ми матимемо на увазі класичну (біологічну), що досліджує взаємодію організмів між собою та з довкіллям. Відповідно, об'єктами її вивчення є живі організми та їхні групи: популяції, екосистеми, біосфера.

Крім того, виділяють спеціальні підрозділи екології, об'єктами вивчення яких є визначені систематичні групи організмів: екологія мікроорганізмів, рослин, тварин, грибів. Також її об'єктами є організми певного середовища: гідробіологія досліджує екологію гідробіонтів, а ґрунтова біологія — організмів ґрунту.

¹ Від грец. *oikos* — дім і *logos* — учення.

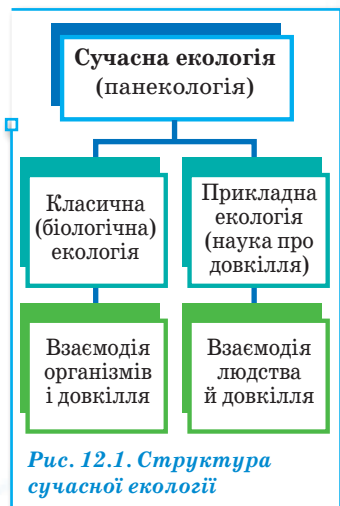


Рис. 12.1. Структура сучасної екології



Рис. 12.2. Об'єкти (зелені кола) й предмети (стрілки) вивчення екології

легко зрозуміти її основні завдання. Головним завданням екології є вивчення взаємозв'язків між живою й неживою природою. Також екологія, як наука надорганізмового рівня, займається дослідженням популяцій, угруповань, екосистем і біосфери з огляду на їхню організацію, закономірності функціонування, принципи розвитку. Прикладна екологія додала до цих завдань ряд своїх, таких як вивчення взаємовпливу суспільства й природи та гармонізація відносин між ними. І оскільки людство стало основною екологічною силою нашого часу, але водночас залишається залежним від ресурсів, джерелом яких є біосфера, то останні питання будуть найбільш актуальними в сучасній екології.

Для екологічних досліджень застосовують різноманітні методи

Класична екологія є біологічною дисципліною, тому для вирішення поставлених завдань використовує звичні для неї методи **спостереження й опису** та **порівняння**. Для того, щоб порахувати живі організми, їх відловлюють за допомогою пасток або знімають завдяки фотопасткам і, за потреби, мітять (рис. 12.3). Спостереження часто пов'язані з кількісними розрахунками, оскільки досліджується не один організм, а їх сукупність. Також значна кількість екологічних впливів може бути кількісно виміряною (наприклад, температура, солоність води тощо). Унаслідок

Але організми та їхні угруповання не існують ізольовано, а постійно взаємодіють із іншими організмами й угрупованнями. Також вони зазнають впливу й багато в чому залежать від неживих компонентів навколишнього середовища, і при цьому самі на них впливають (згадайте закон єдності організму й середовища його мешкання). Ці процеси взаємовпливу, зв'язки між організмами, угрупованнями й середовищем якраз і є предметом вивчення екології. Саме вони визначають структуру й принципи функціонування організмів і надорганізмових біологічних систем, які також досліджує екологія (рис. 12.2).

Знаючи, що вивчає біологічна екологія,



Рис. 12.3. Пристрої, що використовуються для екологічних спостережень

А. Фотопастка робить знімки, коли гомойотермна тварина певного розміру потрапляє в її поле зору.

Б. Мініатюрний GPS-датчик на грудях у бджоли дозволяє відслідковувати її переміщення.

А
$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy = (\alpha - \beta y)x$$

$$\frac{dy}{dt} = -\gamma y + \delta xy = (\delta x - \gamma)y$$

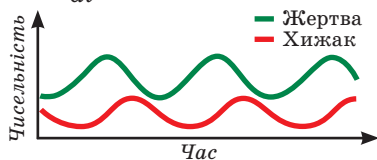


Рис. 12.4. Екологічні моделі

А. Математична модель Лотки-Вольтерри для системи «хижак-жертва» заснована на двох диференціальних рівняннях і описує коливання чисельності популяцій із часом.
Б. Комплекс «Біосфера-2» моделює умови різних природних зон Землі.

спостереження накопичуються великі масиви даних, для аналізу яких застосовують **математичні методи статистичної обробки**.

Експериментальні методи не поширені в екології. Річ у тім, що об'єкти надорганізмового рівня — популяції, екосистеми й біосфера — займають великі території. Наприклад, щоб дослідити, як впливає кількість вовків на кількість зайців у лісі, потрібно привести звідкись до лісу чи вилучити кілька сотень нових вовків. А збільшити температуру в усьому лісі чи змінити склад повітря взагалі не видається можливим. Також умови в природі постійно змінюються й неможливо достовірно стверджувати, що зміни біологічної системи в процесі експерименту є наслідком впливу експериментатора, а не якогось неврахованого фактора. Тому провести дослід у польових умовах складно, а перенести популяцію чи екосистему до лабораторії найчастіше неможливо. Замість дослідів екологі використовують **моделювання**. Математична чи лабораторна модель є спрощеним відображенням природної системи (рис. 12.4). Завдяки ній легше проаналізувати процеси, що відбуваються в біологічній системі, та її реакцію на різноманітні впливи.

Крім загальнобіологічних, є й специфічні для екології методи дослідження. До таких належить **метод екологічної індикації**. Його суть полягає у використанні видів-індикаторів для визначення стану екосистеми й процесів у ній (рис. 12.5). Життєдіяльність і поширення цих видів змінюються за зміни параметрів екосистеми. При цьому види-індикатори повинні бути чутливими до змін, доступними та зручними для аналізу. Лишайники є гарними індикаторами чистоти повітря: деякі з них потребують для життя надзвичайно чистого повітря, інші виживають і в забрудненому середовищі. Тому, вивчивши різноманіття видів лишайників певної території, можна визначити там і відносну чистоту повітря. У такий же спосіб для визначення чистоти води використовують одноклітинні організми, молюсків, личинки комах, рослини тощо.

Також екологи застосовують **метод екологічного моніторингу**. Для його реалізації на певній території проводять постійне спостереження за змінами

**А****Б****В**

Рис. 12.5. Види-індикатори

А. Інтенсивне розмноження ціанобактерій спричиняє «цвітіння» водойм, забруднених фосфоровмісними добривами й мийними засобами. **Б.** Личинки волохокрильців здатні розвиватися лише в чистій воді. **В.** Хвощ польовий є індикатором кислого ґрунту.

факторів живої й неживої природи. Наприклад, щодня відбирають проби води чи повітря, аналізують зміни температури, кількості організмів чи їхньої активності. До речі, часто об'єктами екомоніторингу є якраз види-індикатори. Останнім часом у екологічному моніторингу почали застосовувати інформацію, отриману космічними супутниками чи дронами. У результаті тривалого спостереження формується база даних змін параметрів середовища, що дозволяє проаналізувати взаємовпливи й реакції біологічних систем на ті чи ті зміни. Наприклад, завдяки моніторингу можна визначити, як залежить кількість видів гідробіонтів у прибережній зоні моря від температури води, напрямку течії й вітру чи обсягів надходження міських стічних вод.

Екологія використовує знання інших наук

Оскільки предметом вивчення екології є зв'язки між живою й неживою природою, то наукова спільнота в галузі екології у власних дослідженнях послуговується відомостями як із біологічних наук, так і з наук про неживу природу. Особливе значення в екології мають відомості з наук про Землю (географії, ґрунтознавства, кліматології, океанології тощо), бо все живе взаємодіє з довкіллям, вивченням якого вони якраз і займаються. Під час використання математичних моделей екологам доводиться орієнтуватися й у математичних закономірностях. Прикладна екологія вимагає знань із багатьох технічних і суспільних дисциплін, оскільки їй доводиться вивчати впливи цивілізації на довкілля та навпаки. Ба більше, із виходом людини в космос виникла навіть галузь космічної екології!

З іншого боку, екологічні знання потрібні при вивченні процесів еволюції, адаптацій організмів, їхньої поведінки й фізіології. Також вони заклали підвалини **раціонального природокористування** — ефективного використання природних ресурсів, яке завдає мінімальної шкоди екологічному балансові природи. Тому економічні й політичні дисципліни часто потребують відомостей із екології (і, на жаль, подекуди спекують ними). Отже, можна впевнено стверджувати, що сучасна екологія стала містком між природничими, економічними, суспільними й технічними галузями знань.

Елементарно про життя

■ 1. Укажіть твердження, у якому слово «екологія» вжито некоректно.

А серед навчальних дисциплін екологія набуває все більшої популярності

Б у селах біля смітєвих полігонів забруднена екологія

В дослідження в екології часто стикаються з браком коштів

Г політики маніпулюють громадською думкою, користуючись неосвіченістю в галузі екології

■ 2. Проаналізуйте твердження про зв'язок екології з іншими науками та оберіть правильні.

I. Методи статистичної обробки екологічних даних засновані на математичних операціях. **II.** Дані екології використовують під час розробки природоохоронного законодавства.

А жодне із тверджень не є правильним **Б** обидва твердження правильні

В правильне лише I

Г правильне лише II

■ 3. Оберіть біологічну систему, що є об'єктом вивчення екології.

А беркут **Б** листок клена **В** дихальна система сірого щура **Г** мітохондрія

■ 4. Одним із завдань екології є

А розроблення шляхів збільшення впливу людської діяльності на природу

Б дослідження способів регуляції функціонування клітин організму

В встановлення закономірностей змін у популяціях

Г удосконалення методів навчання задля покращення екологічної обізнаності

■ 5. Увідповідніть метод екологічних досліджень і його приклад.

- | | |
|------------------------|--|
| 1 моніторинг | А використання інфрачервоної камери для визначення видів сов у парку |
| 2 екологічна індикація | Б вивчення наявності чутливих до забруднення повітря видів лишайників навколо заводу |
| 3 моделювання | В використання акваріума з рибами для дослідження швидкості розмноження ціанобактерій |
| 4 спостереження | Г щомісячне визначення співвідношення самок і самців коропа в Канівському водосховищі |

У житті все просто

■ 6. Для кожного з основних об'єктів екології (організм, популяція, екосистема, біосфера) придумайте екологічне дослідження. Визначте предмет і завдання запропонованих вами наукових робіт.

■ 7. На конкретних прикладах доведіть, що екологія використовує знання інших природничих наук.

У житті не все просто

■ 8. Знайдіть інформацію про випадки екологічного невігластва, що спричинило значні негативні наслідки для людини чи природи. За її допомогою спробуйте переконати однокласниць і однокласників у необхідності екологічних знань у житті кожної людини.

§ 13. Екологічні фактори

Довкілля є сукупністю екологічних факторів різного типу

Для того, щоб зрозуміти, як діє довкілля на організми та їхні угруповання, екологи аналізують фактори, що впливають на живе, — **екологічні фактори**, або **екологічні чинники**. Сукупність усіх екологічних факторів, які діють на біологічну систему, якраз і формує те, що вчені називають **навколишнім середовищем**, або **довкіллям**.

Як вам уже добре відомо, за походженням усі екологічні фактори поділяють на абіотичні, біотичні й антропогенні (антропогенні). **Абіотичні** — це фактори впливу неживого середовища на організми. Виокремлюють кілька їх основних груп: кліматичні (температура, вологість, тиск повітря, вітер), фізичні (освітлення, звук, радіоактивне випромінювання, сила течії), хімічні (солоність і кислотність води, уміст речовин у повітрі чи ґрунті) та географічні (рельєф місцевості, висота над рівнем моря). **Біотичними** називають екологічні фактори, що проявляються у взаємодії з іншими організмами. Це можуть бути харчові зв'язки, конкуренція, вплив паразитів тощо. Отже, будь-яка форма взаємодії організмів різних видів між собою в одній екосистемі буде біотичним фактором. А, як ви пам'ятаєте із § 9, такі міжвидові взаємодії називають симбіозом. Тому біотичні фактори проявляються переважно в різних видах симбіозу¹. **Антропогенні (антропогенні) фактори**² полягають у впливі людини на організми.

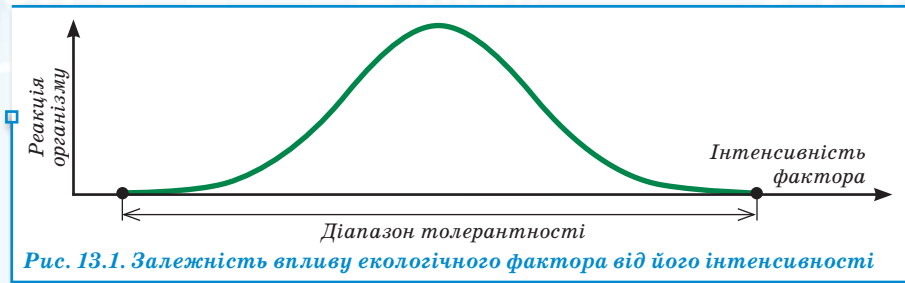
З огляду на характер впливу виокремлюють екологічні фактори прямої й опосередкованої дії. Якщо перші діють на організми безпосередньо (температура, полювання хижак на жертву, збирання грибів людиною), то другі впливають на екологічні фактори прямої дії. Наприклад, рельєф є екологічним фактором опосередкованої дії, тому що із його зміною стають іншими освітлення, температурний режим, вологість, сила вітру тощо. Так само забруднення водойм промисловими відходами змінює видовий склад екосистеми, а це означає, що опосередковано змінює й біотичні взаємодії в ній.

Види відрізняються шириною діапазону толерантності

Кожен екологічний фактор має певні межі інтенсивності дії, за яких організм може існувати. Тобто якщо екологічний фактор діятиме сильніше або слабше, то життя організму стає неможливим і він гине. Цей інтервал інтенсивності впливу екологічного фактора між максимальним і мінімальним значеннями називають **межами витривалості**, або **діапазоном толерантності** (рис. 13.1). Так, наприклад, рослина не може існувати, якщо інтенсивність освітлення буде замалою для здійснення фотосинтезу. І навпаки, якщо світла буде забагато, то фотосинтетичні системи хлоропластів швидко зруйнуються і рослина загине.

¹ Не варто забувати, що організми одного виду також впливають одне на одного (наприклад, конкурують за їжу). А це означає, що одне для одного вони також є біотичними факторами.

² Від грец. *anthropos* — людина й *genes* — породжений.



Як вам уже відомо з § 5, ширина діапазонів толерантності (меж витривалості) різних організмів відрізняється. Організми, що мають широкі діапазони толерантності, є екологічно пластичними, і їх називають **еврибіонтами**, тоді як екологічно непластичні організми — **стенобіонтами**¹ (рис. 13.2). Кактус є стенобіонтом стосовно температури й вологості ґрунту: він не виживе під час української зими й загине, якщо його надмірно поливати. Зате зайці-русаки добре переживають як спекотне літо, так і холодну зиму, що свідчить про їхню значну еврибіонтність і екологічну пластичність щодо температури.

Важливо розуміти, що діапазон толерантності окремого організму не завжди має таку ж ширину, як діапазон усього виду. Це зумовлене тим, що кожна особина виду має власний набір алелів. Через таку відмінність фенотипи (зовнішній вигляд, життєдіяльність) окремих особин відрізняються (наприклад, усі люди, крім однояйцевих близнят, зовнішньо неоднакові), а тому відрізняється й толерантність до різної інтенсивності екологічних факторів.

Також еврибіонт зазвичай мають ширші ареали, бо здатні витримувати більше різноманіття умов. Крім того, нові місця проживання насамперед заселяють саме еврибіонти, але з розвитком екосистем кількість стенобіонтів збільшується (докладніше про це йтиметься в § 18).

Мутуалізм є корисним для обох видів

Як зазначалося вище, основними біотичними факторами є різні типи міжвидової взаємодії — симбіозу. Усі типи симбіозу можна поділити на кілька основних груп залежно від взаємовпливу організмів, які наведено в таблиці 13.1.

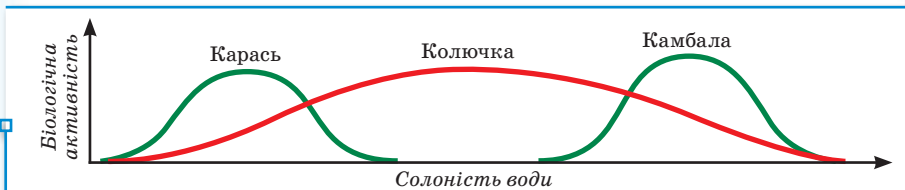


Рис. 13.2. Діапазони толерантності еврибіонтів і стенобіонтів

Дев'ятиголкаста колючка, яка здатна існувати як у прісній, так і в солоній воді, є еврибіонтним видом щодо солоності води. Карасі ж живуть лише в прісній, а камбала — у солоній воді, тому вони є стенобіонтами.

¹ Від грец. *eurys* — широкий, *stenos* — вузький і *bios* — життя.

Таблиця 13.1. Типи симбіозу

Тип міжвидової взаємодії	Характеристика	Приклад
Мутуалізм	+/+	Бджоли й квіткові рослини
Коменсалізм	+/0	Реп'ях і корова (поширення плодів)
Хижацтво	+/-	Павуки й летючі комахи
Рослиноїдність (виїдання)	+/-	Короп і водорості
Паразитизм (див. § 10)	+/-	Блоха й щур
Конкуренція (див. § 9)	-/-	Вівці й ховрахи (за траву)

У ній знаком «+» позначена вигода виду від співіснування, знаком «-» — його шкідливість, а знаком «0» — відсутність як користі, так і шкоди.

Про **мутуалізм** (+/+) і **коменсалізм** (+/0), за яких один організм є середовищем життя для іншого, вам уже добре відомо із § 9. Але в наземно-повітряних, водних чи ґрунтових екосистемах також трапляються ці типи взаємодії. Так, наприклад, комахи беруть участь у запиленні квіткових рослин, отримуючи за це смачний нектар. А тварини, поїдаючи поживні плоди, сприяють поширенню насіння рослин. Час-

то мутуалістичні взаємини можуть бути й такими, коли види добре існують незалежно одне від одного, проте разом їм значно краще. До прикладу, 80 % покритонасінних рослин і всі голонасінні утворюють мікоризи з грибами. Це значно збільшує площу всмоктування рослиною води й мінеральних речовин із ґрунту (від 1 см кореня може відходити до 3 м гіф грибів!). Грибний симбіонт за таку допомогу отримує органічні речовини від рослини. Утім обидва організми можуть існувати й незалежно, хоча в такому випадку інтенсивність їхнього росту й розвитку зменшується (рис. 13.3, А). Деякі мурахи захищають попелиць від хижаків, отримуючи від них краплинки поживної пади (рис. 13.3, Б), але обидва організми обходяться й без взаємодії, хоча боронитися від хижаків і харчуватися їм стає складніше. Останні приклади ілюструють висновок про те, що якщо мутуалізм приносить більше користі, ніж на нього витрачається ресурсів, то організми намагатимуться коадаптуватися й підтримувати вигідний для них симбіоз і надалі. Також завдяки мутуалізму організми можуть освоювати нові середовища чи екологічні ніші: вихід рослин на суходіл у процесі історичного розвитку відбувся завдяки їхньому симбіозу з грибами.

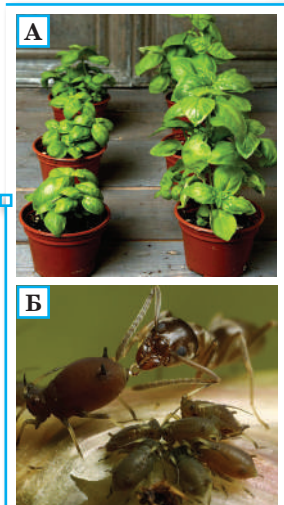


Рис. 13.3. Необов'язковий мутуалізм

А. Рослини одного віку, що ростуть у ґрунті без мікоризи (ліворуч), мають менші розміри, ніж ті, що ростуть із мікоризою (праворуч).

Б. Мурахи «вичавлюють» із попелиць краплинки пади як плату за захист, хоча можуть харчуватися й незалежно.

Завдяки коменсалізму простір і ресурси екосистеми використовуються ефективніше

Коменсалізм між окремими видами може проявлятися у вигляді **квартирантства**, за якого один організм використовує тіло іншого чи його житло для існування. У норах гризунів спільно з ними мешкають численні членистоногі, для яких наявний мікроклімат є дуже сприятливим. Або вивірки (білки) можуть оселятися в покинутих дуплах дятлів (рис. 13.4, А). Крім того, один вид може під'їдати рештки їжі за іншим, тобто бути **нахлібником**. Наприклад, глибоководні риби харчуються рештками потонулої їжі, яку не з'їли риби поверхневих шарів. А риби-прилипали прикріплюються до акул присоскою й живляться за рахунок решток їхньої трапези (рис. 13.4, Б). Коменсалізм є вигідним для екосистем тим, що він дозволяє збільшити кількість екологічних ніш за рахунок ефективнішого використання простору й ресурсів.



Рис. 13.4. Коменсали

А. Вивірка (білка) в дуплі, видовбаному дятлом.

Б. Риби-прилипали мандрують із акулою й харчуються рештками її їжі.

Завдяки хижацтву й рослиноїдності підтримується стабільність екосистем

Розповсюдженим типом міжвидової взаємодії є **хижацтво** (+/-)¹, коли один організм ловить і вбиває інший із метою поїдання. Зазвичай хижаки є екологічно пластичними щодо типу їжі: оскільки витрати енергії на пошук, полювання й поїдання жертв значні, то перша-ліпша жертва вже буде корисною. Для її пошуку деякі хижаки переміщуються (окуні, яструби, лисиці), а інші чекають, зачаївшись (восьминоги, жаби, гадюки) або побудувавши пастку (пауки). У хижаків добре розвинені органи чуття, й вони здатні до швидких рухів. Жертви, натомість, мають безліч захисних пристосувань. Це й великий розмір тіла (слони, бегемоти), підвищена рухливість (газелі, зайці), захисні утворення (черепашки молюсків, голки їжака), яскраве попереджувальне чи маскувальне забарвлення тощо (рис. 13.5).

Багато в чому схожим до хижацтва є **рослиноїдність (виїдання)**, під час якого тваринний організм з'їдає частини або зрідка увесь рослинний організм.

¹ У зарубіжній літературі часто під терміном «хижацтво» об'єднують усі три типи взаємодії +/-, коли один організм використовує інший задля поживи: хижацтво, рослиноїдність (виїдання) і паразитизм.

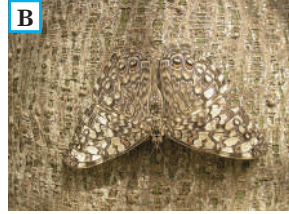


Рис. 13.5. Захисні адаптації жертв

А. Риба фугу здатна різко збільшувати свій об'єм і настовбурчувати голки, відлякуючи хижака.

Б. Попереджувальне забарвлення плямистої саламандри «повідомляє» хижаків, що жертва отруйна й не варто намагатися її з'їсти.

В. Забарвлення крил молі дозволяє їй зливатися з корою дерева.

На відміну від жертви хижаків, рослина не може втекти від тварини, що хоче її з'їсти. Також рослиноїди здебільшого екологічно непластичні за типом їжі й спеціалізуються на поїданні одного чи кількох видів рослин, ба навіть частин окремої рослини. Це дозволяє значно зменшити конкуренцію між різними видами рослиноїдів. Як і жертви, рослини захищаються від поїдання, утворюючи колючки (кактуси), тверді покриви (дерева), в'язкі (живиця хвойних) й отруйні речовини (алкалоїди пасльонових) тощо. Відповідно, рослиноїди мають пристосування, що дозволяють уникати цих захисних механізмів. Між хижаків й жертвами, рослиноїдами й рослинами тривають безупинні «перегони озброєнь» за принципом Чорної Королеви (*дивись § 3*). Основне значення всіх взаємодій типу +/- (хижацтво, рослиноїдність, паразитизм) полягає в підтриманні стабільності екосистем: зміна чисельності організмів, що отримують вигоду (хижаків, рослиноїдів, паразитів), впливає на чисельність організмів, для яких співіснування є шкідливим (жертв, рослин і хазяїв), та навпаки (*рис. 13.6*). Також усі міжвидові екологічні взаємодії є одним із факторів природного добору та саме на них ґрунтується коєволюція.

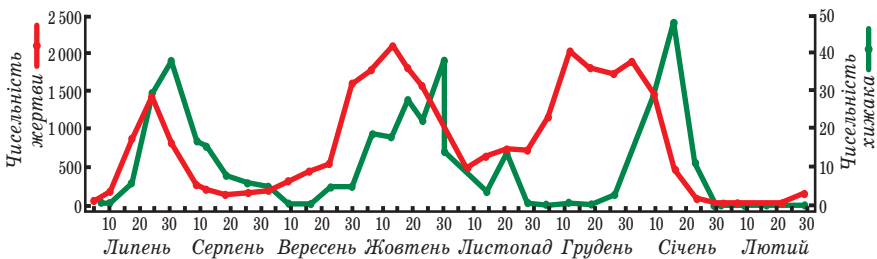


Рис. 13.6. Коливання чисельності жертви й хижаків

Услід за зростанням чисельності жертв зростає кількість хижаків. Це спричиняє активну загибель жертв і, як наслідок, голод серед хижаків. У результаті чисельність хижаків зменшується, що дозволяє збільшитися кількості жертв. І все починається знову.

Якщо вже їсти, то щось одне!

Досить рідкісним різновидом стенобіонтів є організми, що живляться лише одним видом їжі — монофаги. Цим тваринам характерне поїдання організмів одного виду чи декількох видів, що належать до одного роду. Більшість монофагів є рослиноїдними організмами, при цьому здебільшого це комахи.

Цікавим прикладом монофага є метелик Данаїда монарх (*рис. А*). Його гусінь живиться тільки на рослинах роду Ваточник. При цьому в ній накопичується значна кількість отруйних речовин карденолідів, через які як гусінь, так і доросла особина не до смаку хижим птахам. Особливістю метелика є його здатність мігрувати на відстані до 3000 км для зимівлі в Мексиці. І якщо на південь летить одне покоління, то на північ повертаються його онуки й правнуки, які народжуються й виростають під час мандрівки з місць зимівлі.

Інший вид-монофаг знайшов своє застосування в біологічній боротьбі з бур'янами. Це жук звиробійний листоїд, який живиться на рослинах роду... Звиробій! Як і звиробій, жук був розповсюджений у Євразії й Північній Африці. У XVIII ст. насіння звиробою потрапило до Америки, де за відсутності природних ворогів стало бур'яном й заповнило великі площі. У 1930–1940-х роках для боротьби з «нашестями» звиробою до Америки привезли кілька видів листоїдів, які допомогли «очистити» луки від звиробою-бур'яну (*рис. Б*).

Монофаги трапляються не тільки серед комах. М'якеньким австралійським прикладом стенобіонта-монофага є коала. Ця сумчаста тварина наймовірно прив'язана до евкалиптів, на яких живе й харчується все життя. Оскільки листя евкалипту містить отруйні речовини, то коали живляться молодими листками менш токсичних видів цих рослин. Навіть воду пухнастики отримують із листків і пагонів евкалиптів, тому злізають із дерева попити лише під час посухи. А щоб краще лазити й не падати на землю під час сну, на передній лапі в них є аж два великих відставлених пальці, якими вони тримаються за гілки евкалипту.



А

Рис. А. Гілка дерева з численними данаїдами, що зимують.



Б

Рис. Б. Пам'ятна дошка із подякою ученим, під контролем яких листоїди знищили звиробій у Каліфорнії.

Елементарно про життя

- 1. Серед наведених екологічних факторів оберіть біотичний.

А обмежена кількість материнського молока для кількох поросят
Б магнітне поле Землі, за яким орієнтуються голуби
В зменшення кількості водяної пари в шпаринах ґрунту
Г течія, що відносить медуз

- 2. Якщо інтенсивність дії екологічного фактора є більшою за максимальне значення інтенсивності в діапазоні толерантності, то організм

А впадає в сплячку
Б гине
В повільніше розмножується
Г швидше еволюціонує

- 3. Оберіть правильне твердження щодо мутуалізму.

А організми-мутуалісти витрачають частину ресурсів на підтримання взаємовигідних відносин
Б прикладом мутуалізму є поїдання сорокою пташенят інших птахів
В що більше в екосистемі мутуалістичних відносин, то менше в ній існує різних видів
Г види-мутуалісти змагаються за доступ до однакового ресурсу

- 4. Виділення часником сульфуровмісних фітонцидів із різким запахом

А відбувається для підтримання мутуалістичних відносин
Б є наслідком коєволюції
В є поведінкою жертви
Г захищає рослину від несприятливих абіотичних факторів

- 5. Увідповідніть тип симбіозу з його прикладом.

1 мутуалізм	А висмоктання попелицями рослинних соків
2 коменсалізм	Б поїдання попелиць сонечками
3 рослиноїдство	В захист мурахами попелиць від поїдання сонечками
4 хижацтво	Г висмоктання соку з однієї рослини попелицями й комарами
	Д використання мурахами хвоїнок для побудови мурашника

У житті все просто

- 6. У вигляді таблиці порівняйте учасників хижацького, рослиноїдного та паразитичного типів міжвидової взаємодії. Чи може один організм одночасно взаємодіяти кількома з наведених способів?
- 7. Доведіть, що симбіоз є еволюційним фактором.

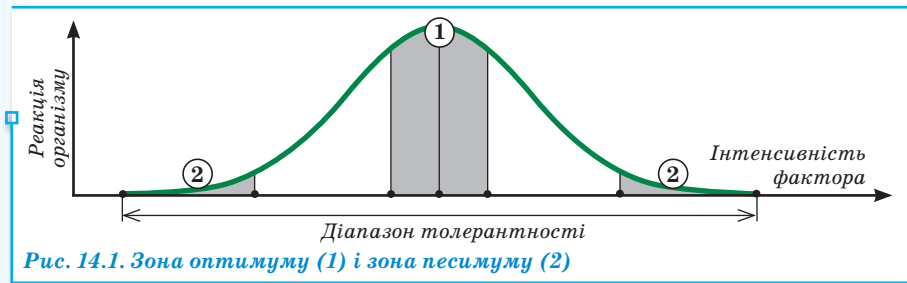
У житті не все просто

- 8. До яких факторів людина є еврибіонтом, а до яких стенобіонтом? Як впливає науково-технічний прогрес на межі витривалості людини?

§ 14. Екологічні закони

Згідно зі законом оптимуму організмові найкраще живеться за певного діапазону інтенсивності екологічного фактора

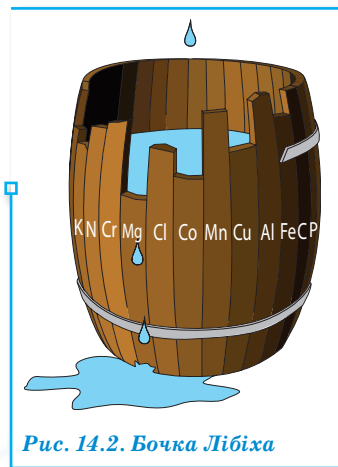
Дія екологічних факторів на організми й реакція останніх на них підпорядковуються численним екологічним законам і закономірностям. Одним із основних законів впливу екофакторів на організми є **закон оптимуму**. Згідно з ним екологічний фактор позитивно впливає на організм лише в певних межах інтенсивності. Цей діапазон позитивного впливу отримав назву «зона оптимуму» (рис. 14.1). Саме в ній виживання й життєдіяльність організму є найкращими. Що далі інтенсивність фактора від зони оптимуму, то більшим буде пригнічення життєдіяльності організму, аж поки не починається зона песимуму — діапазон інтенсивності екологічного фактора, за якого життєдіяльність і виживання організму найгірші.



Виживання організмів визначається обмежувальними факторами

У середині XIX ст. німецький учений Юстус фон Лібіх, досліджуючи ріст рослин, визначив, що брак хоча б одного хімічного елемента в ґрунті зупиняє його, незалежно від кількості інших хімічних елементів. Тобто той фактор, що знаходиться найближче до мінімального значення меж витривалості, буде найсильніше обмежувати життєдіяльність організму. Такі близькі за інтенсивністю до меж толерантності екологічні фактори отримали назву **лімітувальні**, або **обмежувальні**. А **закон мінімуму Лібіха** формулюють так: виживання організму визначається лімітувальним фактором, інтенсивність якого наближається до мінімуму витривалості (толерантності).

Цей закон легко проілюструвати на бочці Лібіха (рис. 14.2). Якщо в бочці є дошки різної довжини (діють екологічні фактори різної інтенсивності), то рівень води в ній (життєдіяльність організму) визначатиметься найкоротшою дошкою (екологічним фактором, що є найближчим до мінімуму діапазону толерантності).



На початку ХХ ст. американський еколог Вільям Шелфорд розширив закон мінімуму Лібіха, зазначивши, що обмежувальним може бути й чинник, інтенсивність якого наближається до максимуму толерантності організму. Новостворений закон називають **законом толерантності** — виживання організму визначається фактором, що найбільше відхиляється від оптимального значення. Тому висока температура є не менш шкідливою для організмів ніж низька, а посуха — ніж надмірна зволоженість тощо. Це означає, наприклад, що для гарного росту кімнатні рослини не треба поливати як занадто часто, так і занадто рідко, а домашніх улюбленців не варто змушувати ані голодувати, ані переїдати. Для сільського господарства розуміння обмежувальних факторів має велике значення, оскільки їхнє подолання дозволяє збільшити врожаї. Наприклад, нейтралізація кислотності ґрунту внесенням вапна здатна збільшити врожаї пшениці.

Взаємодія екологічних факторів визначає життєдіяльність організму

Виявляється, що межі витривалості щодо екологічних факторів не є абсолютними й значною мірою залежать від дії інших чинників. Наприклад, збільшення концентрації вуглекислого газу може покращити життєдіяльність рослини за умов нестачі світла (рис. 14.3). Або підвищений вміст Стронцію у воді може компенсувати нестачу Кальцію, необхідного для побудови черепашок молюсків. Цю закономірність називають **законом компенсації екологічних факторів**. Згідно з ним нестача одного екофактора може бути компенсована другим екологічним фактором. Утім, відсутність найважливіших екологічних факторів (поживних речовин, тепла, світла, вологи) не може бути компенсована ніяким іншим чинником. Крім того, компенсація завжди має певні межі й завдяки ній неможливо компенсувати дуже значні відхилення від оптимальних значень.

Із другого боку, зміна одного фактора може спричинити зниження життєздатності за іншими. Так, наприклад, нестача води значно зменшує стійкість рослини до дії високих температур, а сильний вітер — до низьких. Тому говорять, що екологічні фактори взаємодіють між собою. І згідно зі **законом сукупної дії екологічних факторів** життєдіяльність і виживання організму визначається спільною дією всіх екологічних факторів, а не лише обмежувальних.

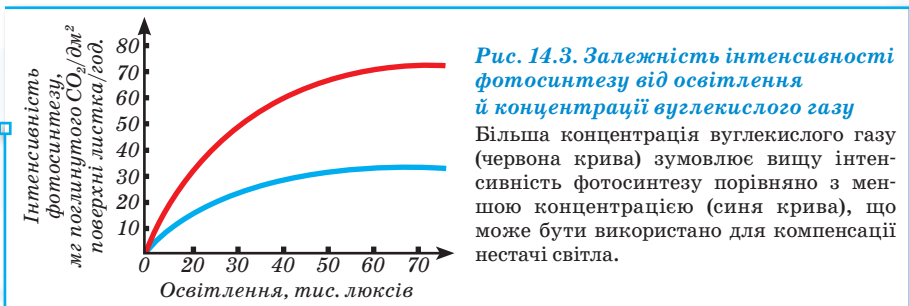


Рис. 14.3. Залежність інтенсивності фотосинтезу від освітлення й концентрації вуглекислого газу

Більша концентрація вуглекислого газу (червона крива) зумовлює вищу інтенсивність фотосинтезу порівняно з меншою концентрацією (синя крива), що може бути використано для компенсації нестачі світла.

Унікальний набір адаптацій організму зумовлений пристосуванням до умов середовища його мешкання

Згідно з принципом конкурентного виключення (дивись § 5) у кожного виду є власна екологічна ніша в екосистемі. Тому сукупність умов, у яких живе кожен вид, своя. І саме вона визначає ті адаптації, що будуть характерні для організму. У цьому полягає принцип екологічної відповідності, згідно з яким пристосування в життєдіяльності організму завжди повинні відповідати умовам його існування. Наприклад, зябра риб дозволяють ефективно отримувати кисень із води, а крила кажана — швидко маневрувати в повітрі, бо саме в таких умовах ці організми існують. Є й інші наслідки пристосованості кожного виду до власної екологічної ніші — правило екологічної індивідуальності. Відповідно до нього набір адаптацій кожного виду є унікальним і властивим лише для нього. Незважаючи на те, що часто види мають окремі подібні пристосування (наприклад, для водоплавних тварин характерна обтічна форма тіла, що зменшує опір води), сукупність усіх пристосувань організму певного виду є унікальною. Цікаво, що правило індивідуальності є справедливим і для окремого організму: через відмінний генотип особин одного виду¹ їхні толерантності відрізняться. Не варто також забувати, що не тільки середовище впливає на організм, а й організм на нього. У результаті між ними виникає взаємозв'язок, який відображається в законі єдності організму й середовища його мешкання (докладніше про це йшлося в § 1).

Закони екології Баррі Коммонера є основою раціональної поведінки людей щодо природи

У 1971 році американський біолог і майбутній кандидат у президенти США Баррі Коммонер (рис. 14.4) у книзі «Коло, що замикається» сформулював чотири всеохопні закони екології. Вони пояснюють загальні принципи функціонування біосфери й дають поради людству, як співіснувати з природою.

Закон «усе пов'язано з усім» ілюструє нерозривний зв'язок усіх процесів і об'єктів у природі. Тому будь-яка дія людини на неї матиме наслідки, що проявляться одразу або з часом, у цьому ж чи віддаленому місці. Гарним прикладом реалізації зазначеного закону є використання ДДТ — небезпечного інсектициду, що здатний накопичуватися в жирових тканинах і повільно руйнується в природі. Його застосовували для боротьби з комахами-шкідниками й особливо широко — у тропічних регіонах проти малярійних комарів. Згодом ДДТ було виявлено в тканинах пінгвінів Антарктики, де його ніколи не використовували! Тобто завдяки передачі харчовими ланцюгами ця речовина розповсюдилася по всій біосфері.

Згідно з другим законом, «усе має кудись подітися». Річ у тім, що в природі немає відходів: рештки організмів слугують ресурсом для життя інших.

¹ Це справедливо в усіх випадках, крім однойцевих близнюків і клонів, що утворюються нестатевим шляхом.



Рис. 14.4. Обкладинка популярного американського журналу «Time» за лютий 1970 року

Завдяки активній громадській діяльності в США Баррі Коммонер асоціювався з екологічними проблемами, тому його портрет зображено на обкладинці журналу між світлим природним довкіллям і темним, зруйнованим людиною середовищем.

Але технічне виробництво створює продукти й відходи. У біосфері, зазвичай, немає можливості швидко зруйнувати чи використати їх, тому вони накопичуються в природі. Це спричиняє інтенсивне забруднення середовища. Отже, людині потрібно заздалегідь продумувати повний цикл життя продукту, щоб рештки після використання й відходи виробництва перероблялися та не накопичувалися в природі.

Наступний закон стверджує, що **«природа знає краще»**. Природні біологічні системи завдяки тривалій еволюції та коадаптації мають добре налагоджені механізми функціонування. І через неповне розуміння їхньої дії й закономірностей будь-який вплив людини на природу матиме негативні наслідки. Так і сталося з ДДТ, який виявився отруйним для багатьох тварин і людини. Маючи на меті зробити краще — знищити шкідників і малярійних комарів — людство спричинило значні негативні наслідки для всієї біосфери. І тому нам потрібно докладати зусиль для більш ретельного вивчення екологічних закономірностей. А спроби «перехитрити» природу не мають сенсу й будуть безрезультатними.

Останній закон екології Баррі Коммонер сформулював як **«ніщо не дається задарма»**. Це означає, що використання природних ресурсів завжди потребує «повернення». Тобто отримуючи якусь суспільну вигоду (більше їжі, теплі будинки тощо), людство ніби бере в природи в борг. І його потрібно буде «відшкодувати». Наприклад, інтенсивне спалювання викопних карбоновмісних копалин (нафти, вугілля, газу) задля отримання енергії спричиняє збільшення викидів вуглекислого газу й посилення парникового ефекту (про це йтиметься в § 22 і § 24). Отже, «позичаючи» у природи копалини, цивілізація «віддає борг» зміною клімату, від якої сама ж і страждає. Ці закони заклали підвалини раціонального природокористування, про яке ми докладніше поговоритимемо в § 28-29.

Наведені закони екології за своєю суттю не є вимірюваними чи експериментально доведеними. Вони виведені на основі роздумів і є дещо філософськими. Тим не менш, їх використання під час планування будь-яких аспектів людської діяльності (від вибору моделі автомобіля для покупки до проекту будівництва атомної електростанції) дозволяє більш екологічно ефективно регулювати відносини між суспільством і довкіллям. Тож якщо кожен із нас розумітиме ці закони та наслідки, які спричиняє їх невиконання, то існування людства стане набагато більш ощадливим і природозбережливим.

Елементарно про життя

■ 1. Якщо інтенсивність дії екологічного фактора є рівновіддаленою від максимального й мінімального значень діапазону толерантності, то виживання організму буде

А найкраще **Б** найгірше **В** середнє **Г** відсутнє

■ 2. Швидкість розмноження ціанобактерій зростає при збільшенні вмісту Фосфору у воді. Це свідчить про те, що

А Фосфор пригнічує життєдіяльність ціанобактерій

Б кількість Фосфору у воді залежить від смертності ціанобактерій

В вміст Фосфору у воді є лімітувальним екологічним фактором

Г збільшення вмісту Фосфору у воді компенсує оптимальну кількість світла

■ 3. В організмі людини амінокислота тирозин утворюється з амінокислоти фенілаланіну. Тому згідно зі законом компенсації екологічних факторів

А нестача фенілаланіну може бути компенсована надлишком тирозину

Б нестача тирозину може бути компенсована надлишком фенілаланіну

В надлишок фенілаланіну не може бути компенсований надлишком тирозину

Г надлишок тирозину не може бути компенсований надлишком фенілаланіну

■ 4. Відомо, що у світі утилізується лише 15 % текстильних матеріалів, решта ж викидається на смітники. У результаті синтетичні волокна складають значну частину пластикового сміття у Світовому океані. Це є наслідком недотримання закону

А усе пов'язано з усім **Б** усе має кудись подітися

В природа знає краще **Г** ніщо не дається задарма

■ 5. Увідповідніть екологічну закономірність та її опис.

1 правило екологічної індивідуальності 2 закон толерантності

3 закон компенсації екофакторів 4 закон сукупної дії екофакторів

А пристосування організму залежать від умов його існування

Б виживання організму визначається взаємодією всіх екологічних факторів

В толерантність за одним екологічним фактором залежить від дії іншого

Г кожен вид має власний унікальний набір адаптацій до середовища

Д виживання організму визначають фактори, найближчі до меж витривалості

У житті все просто

■ 6. Закон толерантності й закон сукупної дії екологічних факторів по-різному визначають умови виживання організму. Чи суперечать вони один одному?

У житті не все просто

■ 7. Чому інтенсивність фотосинтезу швидко досягає максимуму й при збільшенні освітлення не зростає, як це зображено на *рисунку 14.3*? Як зміниться інтенсивність фотосинтезу, якщо освітлення й далі збільшувати?

Проект для дружної компанії

■ 8. Складіть для дітей літературний твір або візуальну історію, що ілюстрували би закони Баррі Коммонера і наслідки їх недотримання.

§ 15. Популяція

Кожна популяція має власний генофонд

Особини одного виду, що мешкають групою на спільній території й певною мірою ізольовані від інших подібних груп, утворюють **популяцію**. Кожна популяція має власний набір алелей генів — **генофонд**, який є унікальним і відрізняє її від інших популяцій. Унікальність генофонду зумовлена частковою ізоляцією популяції.

Уявімо, що є два озера, у яких мешкає один вид риб (*рис. 15.1*). Між озерами наявний невеличкий канал, через який риби можуть потрапляти з одного озера в друге. Завдяки каналу стає можливим схрещування між рибами, народженими в різних водоймах. Але якщо ймовірність того, що риба знайде собі партнера зі свого озера, вища за ймовірність знайти партнера з іншого озера, то можна говорити про наявність двох популяцій. А от якщо ці ймовірності будуть однаковими, чи ймовірність зустрічі риб із різних озер більша, ніж з одного, тоді обидва озера населені однією популяцією риб. Оскільки ймовірність зустрічі особин із різних популяцій мала, то алелі з іншої популяції майже не потрапляють до генофондів кожної з них. Із другого боку, саме обмін алелями між популяціями об'єднує їх в один біологічний вид.

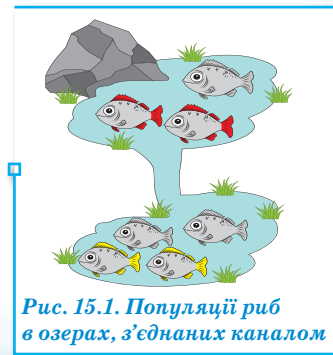
Популяції класифікують за різними ознаками

Через значне різноманіття популяцій учені запропонували кілька їхніх типологій, що відрізняються ознакою, за якою класифікують (*табл. 15.1*).

За подібністю зовнішності й пристосувань виокремлюють підвиди (раси) одного виду. Організми однієї раси відрізняються від організмів інших рас зовнішнім виглядом та особливостями адаптацій (*рис. 15.2*). Зазвичай раса проживає в регіоні з більш-менш стабільними умовами. У її межах виокремлюють географічні популяції, особини яких мають спільні пристосування до клімату й ландшафту. І зрештою найдрібніші локальні популяції мешкають на невеликих відокремлених територіях. Що нижче ранг популяції за цією класифікацією, то більш подібні між собою її особини. А поділ великих популяцій на дрібніші зумовлений неоднорідністю умов існування.

Таблиця 15.1. Класифікації популяцій

Ознака, за якою класифікують	Типи популяцій
Подібність зовнішнього вигляду організмів й умов існування	Раси (підвиди)
	Географічні популяції
	Локальні популяції
Розмір	Суперпопуляції
	Звичайні популяції
	Карликові популяції
	Осілі популяції
Використання простору (для популяцій тварин)	Кочові популяції
	Мігруючі популяції



**А****Б****В**

Рис. 15.2. Українські підвиди (раси) вивірки звичайної
А. Вивірка карпатська. **Б.** Вивірка українська. **В.** Вивірка-телеутка.

Популяції тварин відрізняються за типом використання простору. Осілі популяції комах, зайців, ґрунтових організмів усе життя проводять на одному місці. Вони добре орієнтуються на території проживання, мають зроблені запаси харчу, знають, де ховатися від хижаків. Популяції копитних, граків, пещів належать до кочових. Вони постійно переміщуються на невеликі відстані в пошуках їжі чи кращих умов середовища. А мігруючі популяції проживають у кількох віддалених місцях і час від часу переселяються з одного в друге. Наприклад, перелітні птахи, вугрі, лососі долають значні відстані задля уникнення несприятливих умов чи розмноження.

Основними характеристиками популяції є чисельність і щільність

В усіх популяціях є кілька характеристик, що дозволяють аналізувати процеси, які в них відбуваються. Найважливішими серед них є **чисельність** і **щільність (густота)** популяції. Перша з них демонструє, скільки особин налічує популяція, а друга — скільки їх мешкає на одиниці площі чи в одиниці об'єму¹. Зазвичай популяції хижаків і рослиноїдних організмів мають меншу чисельність, ніж популяції жертв і рослин відповідно, а популяції великих тварин — менші, ніж дрібних.

Щільність (густота) популяції залежить від того, яку територію вона займає і яка її чисельність. Густота завжди має максимальне й мінімальне значення. Якщо організмів у популяції стає забагато, то ресурсів (їжі, води, місця для проживання чи переховування тощо) усім не вистачає і смертність збільшується. Якщо ж щільність є дуже низькою, то зустрічі для спарювання відбуваються рідко, тому народжуваність стає меншою за смертність і популяція вимирає.

Існує поняття **мінімальної життєздатної популяції** — найменшої чисельності ізольованої популяції, що має великий шанс бути збереженою в цій місцевості протягом тривалого часу. Для хребетних мінімальна життєздатна популяція складається з кількох сотень або тисяч осіб (рис. 15.3). При цьому, що меншою є чисельність популяції, то нижчі її шанси на виживання. Знання розміру мінімальної життєздатної популяції є важливими в природоохоронній діяльності, оскільки дозволяє спрогнозувати тривале виживання окремої популяції й потребу в штучному об'єднанні популяцій заради збереження їх у природі.

¹ Щільність на одиницю об'єму використовують, здебільшого, для популяцій у водному й ґрунтовому середовищах.

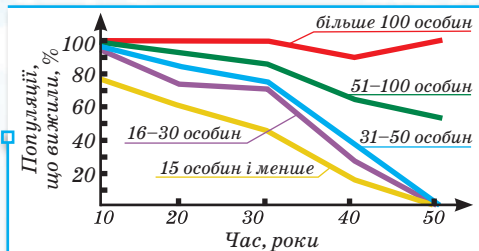


Рис. 15.3. Вживання окремих популяцій сніжного барана з різною щільністю на південному сході США



Рис. 15.4. Сосновий ліс

Через високу конкуренцію між дорослими й молодими деревами останнім не залишається ресурсів для розвитку.

Оптимальна щільність популяції має відповідати ємності середовища мешкання

Підтримання більш-менш сталої щільності популяції — **гомеостазу популяції** — досягається шляхом балансування народжуваності й смертності, тобто урівнювання кількості особин, що народжуються й вмирають за певний проміжок часу. Крім цього, підтримання гомеостазу може здійснюватися шляхом еміграції (відтоку особин із популяції) чи імміграції (притоку особин до популяції). Співвідношення цих чотирьох процесів і визначає зміни чисельності популяції з часом.

Оптимальна густина популяції повинна відповідати **ємності середовища мешкання** — здатності довкілля забезпечувати визначену кількість особин популяції без виснаження ресурсів. За таких умов швидкість використання ресурсів відповідає швидкості їх відновлення. І всі механізми підтримання гомеостазу якраз і є спрямованими на увідповіднення чисельності популяції з ємністю середовища.

Існує багато механізмів підтримання гомеостазу популяцій

Виокремлюють дві групи механізмів підтримання гомеостазу: внутрішньовидові й міжвидові. Серед рослин розповсюдженим механізмом внутрішньовидового підтримання чисельності є саморозрідження, коли за високої щільності популяції частина рослин гине на етапі проростання чи молодості. Так стається через конкуренцію між дорослими й молодими організмами. Наприклад, у сосновому лісі молоді дерева не проростають між старими через брак світла й мінеральних речовин (*рис. 15.4*). У тварин є схожі механізми призупинення росту молодняка. Відомо, що більші пуголовки жаб виділяють у воду речовину, що сповільнює розвиток менших представників виду, завдяки чому харчові ресурси у водоймі встигають відновлюватися. Дорослі також можуть знищувати свою молодь. Окуні за великої щільності популяції можуть переходити до канібалізму й харчуватися своїми ж мальками.

Іншим способом регуляції густоти є збільшення смертності й зменшення народжуваності через нестачу ресурсів. У тварин це часто проявляється у вигляді стресу, що знижує плодовитість самок, стійкість до інфекцій та підвищує

агресивність, особливо серед самців. До речі, подібні прояви стресу можна спостерігати й у людини, тому нам варто уникати тривалих стресових умов.

Для тварин також характерні територіальні зміни за умов перенаселення: можна помітити масові переселення (наприклад, у сарани) чи виселення молодняку з території популяції (наприклад, у лемінгів).

Іншими важливими механізмами регуляції густоти є міжвидові взаємодії. Як ви пам'ятаєте із § 13, чисельності популяцій хижаків і жертв, хазяїв і паразитів, рослинодіїв і рослин, що існують у межах однієї екосистеми, взаємозалежні. Ця взаємозалежність є однією з причин постійних коливань чисельності популяції — **популяційних хвиль**¹ (рис. 13.6). Популяційні хвилі зумовлені коливаннями екологічних факторів як абіотичної (зміна пори року, температури), так і біотичної (зміна чисельності хижаків, паразитів) й антропоїчної (антропогенної) природи (браконьєрство, забруднення водойм). Тому чисельність популяції не залишається на одному рівні постійно, а коливається близько до цього значення.

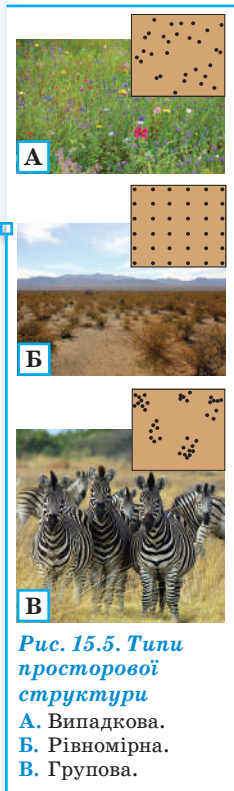


Рис. 15.5. Типи просторової структури
А. Випадкова.
Б. Рівномірна.
В. Групова.

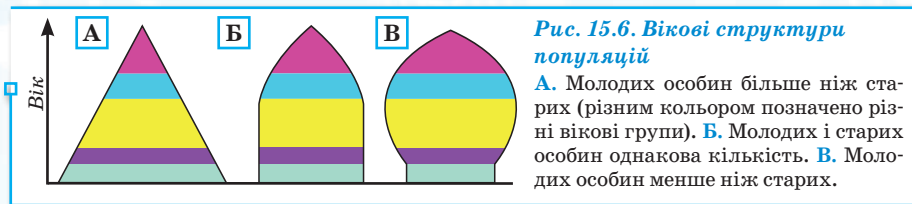
Просторова, вікова, статева структура популяції залежать від організмів і умов довкілля

Учені виокремлюють кілька типів структур популяції: просторову, вікову, статеву й поведінкову. Оразу варто зазначити, що певна структура популяції не є сталою характеристикою й змінюється в часі. Ба більше, вона часто залежить від умов середовища, у яких існує популяція. Тому один вид може мати різні структури своїх популяцій.

Просторова структура популяції визначає розподіл особин територією. Найпоширенішими є три типи розподілу: випадковий, рівномірний і груповий (рис. 15.5). Тип просторової структури залежить від того, яка площа потрібна одному організмові та які умови є на території проживання популяції. Наприклад, у посушливих умовах рослини максимально віддаляються одна від одної, щоб зменшити конкуренцію за воду, і виникає рівномірна просторова структура. А для захисту від хижаків тварини часто групуються, тому для них є характерною групова структура.

Розподіл особин за віковими групами є основою **вікової структури** популяції. Вікові структури відрізняються співвідношенням молодих і старих представників (рис. 15.6). Якщо в популяції мають перевагу молоді

¹ Вчення про популяційні хвилі було засновано видатним радянським біологом Сергієм Четвериковим, який за свої прогресивні біологічні погляди був репресований владою і висланий до Єкатеринбургу.



особини, то її чисельність зростатиме, якщо старі — спадатиме, а якщо кількості рівні, то чисельність буде стабільною. Але у тварин і рослин із коротким життєвим циклом (комахи, однорічні рослини) вікова структура швидко змінюється: після періоду народжень молоді організми переважають у популяції, тоді як перед похолоданням вся без винятку популяція буде представлена дорослими особинами.

Статеву структуру популяції визначається співвідношенням особин різних статей (самців, самок і гермафродитів). У більшості роздільностатевих тварин кількість самців і самок є приблизно рівною. Утім, умови середовища також впливають на статеву структуру. У планктонних ракоподібних більшу частину року популяція складається тільки з самок, що розмножуються партеногенезом. Але при зміні умов (похолодання, посуха) у популяції з'являються самці. У крокодилів і черепах стать новонароджених залежить від температури, за якої розвиваються яйця.

Популяції тварин також відрізняються **поведінковою структурою**. Розрізняють популяції організмів із поодиноким і груповим способами життя. Поодинокі організми, такі як численні комахи, павуки, хижакі з родини Котячі, мешкають окремо одне від одного й утворюють групи лише в періоди спарювання й догляду за нащадками. Тварини ж із груповим способом життя (*табл. 15.2*) можуть проводити в групах увесь період існування, як колонії коралових поліпів або коні в стаді, чи об'єднуватися з певною метою, як вовки для полювання. У великих угрупованнях організми виконують однакові ролі (наприклад, у зграях риб) або різні (у колоніях мурах і бджіл є розвідники, доглядачі нащадків, цариця). Також часто в стадах наявна ієрархія, що визначає доступ до ресурсів і статевих партнерів. Наприклад, у приматів переважно лише альфа-самець спарюється із самками, тоді як решта самців не мають такої можливості. Наявність групової структури популяції сприяє кращому виживанню й розмноженню.

Таблиця 15.2. Груповий спосіб життя

Тип групової структури	Опис	Приклад
Родинний спосіб життя	Усі особини групи є близькими родичами	Лебеді, слони
Зграя	Тимчасове об'єднання з певною метою (полювання, захист від хижаків тощо)	Перелітні птахи, вовки, риби
Стадо	Тривале об'єднання з певною метою	Парнокопитні, примати
Колонія	Спільне поселення осілих тварин	Маргини, мурахи, бджоли

Як учені слоненят у популяціях рахують



Рис. А. Використання накладного квадрату дозволяє підрахувати кількість коралів на 1 м² рифу.

Рис. В. Акула зі спаретіподібною міткою.

Проблема Петрика П'яточкина, пов'язана із підрахунком кількості слоненят, добре знайома тим, хто займається популяційною екологією! Коли говорять про кількість особин у популяції, то мають на увазі її абсолютну чисельність. Але часто достатньо знати лише відносну чисельність популяції, тобто кількість особин у певному місці території в певний час. Визначення відносної чисельності є нескладним: треба підрахувати кількість слідів біля водопою, чисельність риб у сітці, число птахів, що побачив спостерігач чи спостерігачка вздовж певного маршруту чи протягом визначеного часу. Якщо порівняти ці дані з даними, отриманими тим же методом у другій популяції чи в інший час, то можна знайти її відносну чисельність: наприклад, що горобців на одному полі втричі більше, ніж на іншому, та їхня чисельність зросла на 10 % протягом останнього місяця.

Але часто, як і Петрику, екологиням й екологам треба відшукати саме абсолютну чисельність популяції. Для знаходження кількості нерухомих чи малорухомих організмів можна скористатися методом пробних ділянок. Він полягає в підрахунку середньої кількості особин на певній площі території чи в певному об'ємі середовища. Далі отримане число множать на кількість пробних ділянок, що поміщаються на території проживання популяції, і визначають її абсолютну чисельність. Підрахунок особин на ділянці можна здійснювати за допомогою різних приладів: мікроскопа — для дрібних, рахівниці — середніх і вертольота чи навіть супутника — для великих.

Іншим способом, що зручний для визначення чисельності популяцій рухливих особин, є метод мічення й повторного відлову. Для його здійснення спершу відловлюють певну кількість особин, яких мітять і відпускають на волю. Згодом, дозволивши їм поширитися популяцією й змішатися з рештою особин, відлов повторюють. Але тепер рахують, у скількох особин із пійманих є мітка. Завдяки рівнянню можна швидко знайти абсолютну чисельність популяції.

$$\frac{\text{Кількість відловлених на початку}}{\text{Абсолютна чисельність популяції}} = \frac{\text{Кількість мічених у другому відлові}}{\text{Кількість відловлених удруге}}$$

Тож тепер ви точно знаєте, за допомогою якого методу Петрику П'яточкину найкраще рахувати невтомних слоненят! А, до речі, якого?

Елементарно про життя

- 1. Заповніть пропуски в реченні про популяцію.

Якщо ймовірність схрещування між особинами двох груп організмів одного виду є (1), ніж між особинами всередині кожної з груп, то ці групи є (2).

- А 1 — більшою, 2 — окремими популяціями
- Б 1 — меншою, 2 — окремими екосистемами
- В 1 — більшою, 2 — єдиною популяцією
- Г 1 — меншою, 2 — єдиною екосистемою

- 2. Зазначте рису, притаманну кочовим популяціям.

- А проживання в різних місцях, що віддалені одне від одного
- Б усе життя проводять поряд із місцем, де народилися
- В знаходяться в постійному русі з місця на місце
- Г добре освоюють одне місце, у якому постійно мешкають

- 3. Що сповільнить зростання чисельності в перенаселеній популяції?

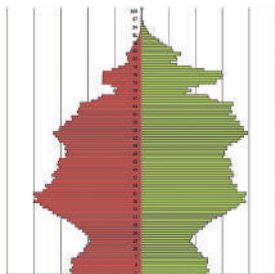
- А зниження стійкості до інфекцій
- Б збільшення кількості яєць, що відкладає самка
- В зменшення відстані, на яку поширюється насіння
- Г зменшення тривалості ембріональних етапів життєвого циклу

- 4. Розгляньте статеві-вікову структуру населення України у 2014 році й зазначте, як змінюватиметься чисельність населення країни найближчими роками (без урахування міграцій).

- А зростатиме Б не змінюватиметься
- В спадатиме Г то зростатиме, то спадатиме

- 5. Увідповідніть тварину й спосіб її життя.

- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| 1 корова | А поодинокий спосіб життя |
| 2 руда мураха | Б родинний спосіб життя |
| 3 бурий ведмідь | В колоніальний спосіб життя |
| 4 скорпіон | Г зграйний спосіб життя |
| | Д стадний спосіб життя |



У житті все просто

- 6. У чому полягає різниця між популяціями-расами й суперпопуляціями? Чи може одна популяція належати до обох типів водночас?

- ■ 7. Схарактеризуйте структури популяції одного з видів птахів України.

- 8. Особини виду Людина розумна надзвичайно мобільні. Проаналізуйте, як змінюється густина популяції вашого населеного пункту протягом доби, тижня, місяця, року. Чому ці дані потрібно враховувати в економіці?

У житті не все просто

- ■ 9. Яка ємність біосфери стосовно людини? Як вона змінилася?

- 10. З'ясуйте, якими дослідженнями займаються українські популяційні екологи. Чи використовуються результати їх досліджень при формуванні екологічної політики держави?

Основна умова існування екосистеми — наявність колообігу хімічних елементів

Усі організми пов'язані зі середовищем свого мешкання й отримують неорганічні речовини з нього: рослини поглинають воду, вуглекислий газ і мінеральні солі, тварини — кисень і воду. Але запаси цих речовин у певному місці обмежені й вичерпалися б, якби не відновлювалися. Тому організми повертають неорганічні речовини назад до середовища в процесі життєдіяльності (під час видиху чи випорожнення) або після смерті — у вигляді компонентів своїх решток. У результаті формується колообіг хімічних елементів (поглинання — використання — виділення), який і є основою **екосистеми** — сукупності організмів різних видів, що пов'язані між собою та з навколишнім середовищем колообігом речовин і потоком енергії.

Зразками екосистем є міський парк, ліс, березовий гай, лісове озеро, Чорне море (рис. 16.1). Як ви бачите, їхні розміри дуже мінливі: є дуже дрібні, наприклад калюжа чи трухлявий пеньок, а є гігантські — Атлантичний океан чи тропічний ліс басейну Амазонки.

Також екосистеми відрізняються ступенем замкненості колообігу речовин. В екосистемах проточних водойм, кам'янистих схилів гір неорганічні речовини безупинно надходять до екосистеми й швидко залишають її, тому в колообігу постійно беруть участь нові атоми хімічних елементів. А в екосистемі лук чи озер ці хімічні речовини надходять у незначній кількості, і, здебільшого, одні й ті ж атоми хімічних елементів повсякчас поглинаються й вивільняються організмами.

Популяції різних видів виконують відмінні функції в екосистемі

У складі будь-якої екосистеми є два основних компоненти: неживий (абіотичний) і живий (біотичний). Абіотичний компонент є сукупністю всіх абіотичних факторів, що впливають на організми, які існують в екосистемі. Ця ділянка середовища з більш-менш одноманітними умовами існування (неживим компонентом),

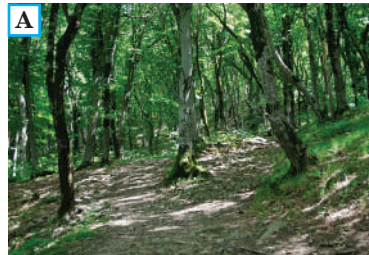


Рис. 16.1. Різноманіття екосистем

А. Широколистяний ліс. Б. Лісове озеро. В. Кораловий риф.

яку займає екосистема, має назву **біотоп**¹. Основними компонентами біотопу є неорганічні й органічні речовини, що потрібні для існування екосистеми, а також фізичні умови (температура, вологість, освітлення тощо) і джерело енергії. Головним постачальником енергії для водних і наземних екосистем є Сонце.

Живий (біотичний) компонент представлений сукупністю взаємопов'язаних організмів, що входять до складу екосистеми, — **угрупованням**, або **біоценозом**². Його складають популяції всіх видів, які утворюють цю екосистему. У складі угруповання виокремлюють три відмінні за функцією й типом живлення групи популяцій: продуценти, консументи й редуценти.

Продуценти — це автотрофні організми, які здатні перетворювати неорганічні сполуки на органічні й використовувати останні для побудови власного організму. До них відносять хемоавтотрофних і фотоавтотрофних прокариотів, здатних до фотосинтезу одноклітинних еукаріотів, та вищі рослини. Вони забезпечують включення неорганічних речовин у колообіг речовин всередині екосистеми.

У подальшому органічні речовини, що їх утворили продуценти, поглинаються **консументами** — гетеротрофними організмами, які живляться іншими організмами. Зазвичай це рослиноїди, які харчуються продуцентами. А рослиноїдів їдять інші консументи: хижак чи паразити. Консументи перетворюють органічні речовини, отримані від продуцентів, на інші органічні речовини, що потрібні їм для життєдіяльності. Найявність консументів у складі біоценозу не є обов'язковою, але угруповання без них трапляються вкрай рідко (найчастіше це винятково мікробні екосистеми).

Зрештою, **редуценти**³ переводять органічні залишки, джерелом яких є продуценти й консументи, у неорганічні речовини, замикаючи в такий спосіб колообіг (рис. 16.2). Переважно редуцентами є гриби та бактерії.

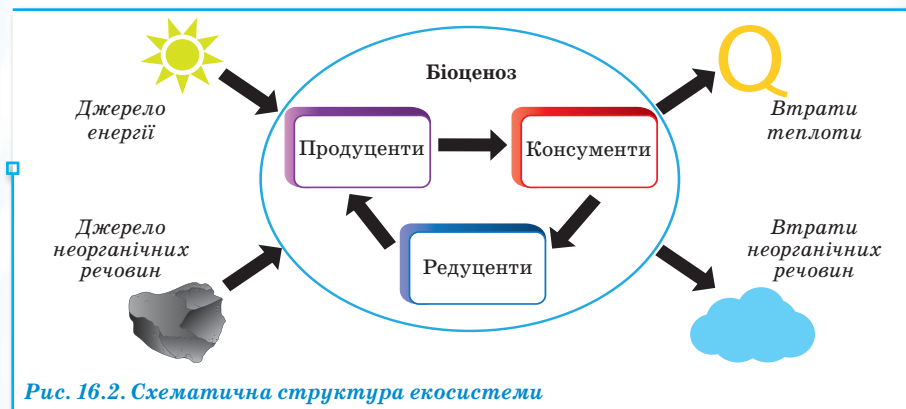


Рис. 16.2. Схематична структура екосистеми

¹ Від грец. *bios* — життя та *topos* — місце.

² Від грец. *bios* — життя та *koinos* — спільний.

³ Продуценти й консументи частково виконують функції редуцентів, оскільки також перетворюють органічні речовини на неорганічні, наприклад, у процесі дихання.

Біоценоз характеризується різними структурами

Подібно до популяції структуру біоценозу можна схарактеризувати за різними ознаками. Його **видова структура** залежить від кількості видів організмів, що входять до складу екосистеми (видове різноманіття), чисельності та поширеності особин цих видів. Видове різноманіття біоценозу залежить від стану екосистеми й особливостей її розвитку. У молодих екосистемах є незвичайна кількість видів, тоді як у давно наявних — кількість видів значно більша (докладніше про розвиток екосистем ітиметься в § 18).

Також видове різноманіття залежить від умов абіотичного середовища. Якщо вони екстремальні (занадто низькі чи високі температури, надмірна чи недостатня вологість тощо), то кількість видів у екосистемах є невеликою. Через це пустелі чи арктичні регіони менш заселені організмами. Порівняйте: у тундровій екосистемі є близько 4,5 тисяч видів, а у вологому тропічному лісі — кілька десятків тисяч (рис. 16.3).

Видове різноманіття залежить і від різноманітності умов у біотопі. Що більш відмінними за своїми умовами є ділянки біотопу та що більше таких клаптиків, то більшим буде видове різноманіття. Тому, наприклад, в екосистемах лісостепу за інших однакових умов існуватиме більше видів, ніж в екосистемах сусіднього лісу. Також на межі двох екосистем проявляється так званий «ефект узлісся»¹. Він полягає в тому, що різноманіття рослин, а тому й тварин, є більшим, ніж у кожній з екосистем нарізно. Так відбувається через те, що на межі між двома різними екосистемами умови більш різноманітні, ніж у самих екосистемах, а тому з'являється більше екологічних ніш, які заселяє більша кількість видів. Тому узлісся має більше видове різноманіття флори й фауни, ніж ліс чи лука.

У деяких біоценозах добре проявляється явище **домінування**, коли популяція одного виду за чисельністю чи біомасою має перевагу над рештою популяцій. Домінантний вид часто визначає весь мікроклімат екосистеми. Наприклад, умови в дубовому лісі визначаються дубами, а в ковило-типчаковому степу — ковилою й типчаком. Однак види, що не домінують, також важливі для екосистеми,



Рис. 16.3. Тундра (А) і тропічний ліс (Б) значно відрізняються видовим багатством

¹ Інші назви цього явища — «ефект межі», або «прикордонний ефект».



Рис. 16.4. Акація є ключовим видом савани

оскільки забезпечують стійкість і заміщення домінантних у разі їхньої загибелі і беруть безпосередню участь у колообігу речовин. Крім домінантних видів, виокремлюють **ключові види**, чий вплив на екосистему є дуже значним, незважаючи на їхнє поширення. Зазвичай знищення ключового виду спричиняє загибель інших пов'язаних із ним видів і перебудову всієї екосистеми. При цьому ключові види не завжди є домінантними. Прикладами таких видів є фікуси в тропічному лісі, оскільки вони забезпечують більшість тварин їжею; хижаки, вимирання яких спричиняє спалах чисельності рослиноїдів, що згодом знищують свою харчову базу й гинуть, або акації в савані, які є єдиним джерелом затінку й довкола яких групується все життя в спекотні періоди (рис. 16.4).

У межах біотопу організми різних видів переважають в окремих місцях. Їхнє розміщення в просторі визначає **просторову структуру** біоценозу. Основою просторової структури є розміщення на різній висоті рослин та їхніх органів — **ярусність**. Вона реалізується через окремі життєві форми — дерева, кущі, трави (про них ішлося в § 6), тому найяскравіше проявляється в лісових екосистемах, де нараховують від 3 до 10 ярусів (рис. 16.5). Надземна ярусність помітна в розташуванні листя рослин на різній висоті. На верхніх рівнях розміщуються дерева, яким необхідно багато світла, а під ними ті, що потребують його менше. Ці два яруси поглинають до 90 % усього світла. Решту ж використовують кущі, трави й мохи, що ростуть біля поверхні землі й належать до окремих ярусів. Зрозуміло, що тварини, услід за рослинами, живляться на відповідних рівнях, тобто також розміщуються ярусами. Але їхня здатність до руху робить тваринну ярусність не такою очевидною. Завдяки поширеному розміщенню зменшується перекривання екологічних ніш популяцій, а значить, і конкуренція, що дозволяє всім видам краще розвиватися.

Реалізація властивостей екосистеми забезпечується організмами

Завдяки процесам взаємодії біоценозу й біотопу екосистема набуває характерних для неї властивостей. Будь-яка екосистема є **відкритою системою**, тобто обмінюється речовиною й енергією зі зовнішнім середовищем. Надходження енергії до екосистеми є неодмінною умовою її існування, оскільки екосистема постійно

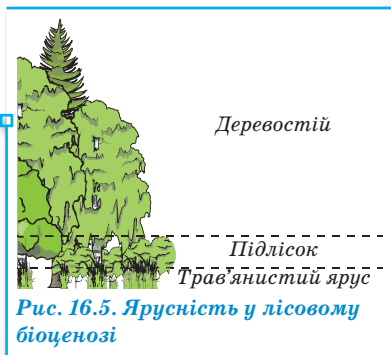


Рис. 16.5. Ярусність у лісовому біоценозі

втрачає її у вигляді тепла. Простіше кажучи, життєдіяльність біоценозу зігріває навколишнє середовище, й ці необоротні втрати тепла постійно треба компенсувати.

Для екосистеми характерна **саморегуляція**. Вона проявляється в тому, що швидкість колообігу речовин і потоку енергії, густина популяцій, темпи розмноження організмів визначаються внутрішніми процесами в екосистемі. Саморегуляція екосистем забезпечується взаємодією всередині популяцій та між популяціями різних видів: чисельність і густина популяцій хижаків і жертв, рослиноїдів і рослин, паразитів і хазяїв є взаємозалежними, як про це вже йшлося в попередніх параграфах. Також, наприклад, якщо редуценти не встигатимуть поновлювати запаси мінеральних речовин у землі, розклавши рештки, то швидкість збільшення біомаси рослин (їхня продуктивність) зменшуватиметься.

Завдяки розмноженню організмів екосистемі властива **здатність до само-відновлення**: після загибелі частини організмів, їхня кількість швидко відновлюється. Крім того, екосистеми володіють **стійкістю**, тобто здатністю протистояти зовнішнім впливам. Стійкість можна розглядати у двох аспектах: як здатність опиратися змінам і як здатність швидко відновлюватися після них. Так, наприклад, ліси мають більшу стійкість до полум'я, порівняно зі степами, де пожежа виникає від однієї іскри. Але відновлення лісу після пожежі триває кілька десятиліть, а для степу достатньо й кількох років (*рис. 16.6*). Основою стійкості екосистеми є видове різноманіття біоценозу: чим воно більше, тим вища її стійкість. Така залежність зумовлена тим, що в разі загибелі значної кількості представників одного виду, організми інших видів можуть компенсувати цю втрату за рахунок збільшення своєї чисельності. Наприклад, якщо під дією якоего нового вірусу чи інсектициду більшість комарів в екосистемі загине, то замість них ластівки інтенсивніше поїдатимуть мух. Якщо ж різноманіття видів комах і їхня чисельність в екосистемі буде недостатньою, щоб прогородувати ластівок, то існування останніх буде під великою загрозою. А з ними й видів, що пов'язані з ластівками. Таким чином, саме видова структура біоценозу визначає його стійкість.



Рис. 16.6. Степова пожежа й відновлення степу після неї

За два роки після степової пожежі (А) біоценоз степу майже повністю відновився (Б).

Елементарно про життя

■ 1. Серед наведених екосистем оберіть ту, в якій колообіг хімічних елементів є найменш замкненим.

А лісове болото

Б пустеля Гобі

В Чорнобильський ліс

Г джерело мінеральної води

■ 2. Виберіть характеристику екосистеми, що НЕ описує біоценоз.

А кількість видів-хижаків

Б густина популяції домінантного виду

В річний діапазон коливань температури

Г рослини, що утворюють деревостій

■ 3. Що більше популяцій різних видів входить до складу екосистеми, то

А більше в ній продуцентів

Б менша конкуренція в ній

В швидший колообіг речовин у ній

Г більша її стійкість

■ 4. Рослини найнижчого ярусу широколистяного лісу помірної зони є

А світлолюбними

Б теплолюбними

В тіньолюбними

Г посухолобними

■ 5. Екосистема з високою стійкістю

А повільно руйнується

Б швидко відновлюється після руйнування

В легко винищується під дією зовнішнього впливу

Г не здатна відновитися після руйнування

■ 6. Увідповідніть функціональну роль у колообігу речовин в екосистемі з організмом, що її виконує

1 перетворення органічних речовин на неорганічні

А підсніжник

2 перетворення неорганічних речовин на органічні

Б медична п'явка

3 перетворення одних органічних речовин в інші

В бактерія гниття

У житті все просто

■ 7. Схарактеризуйте відношення між біотопом і біоценозом. Чи залежить функціонування одного з них від другого?

■ 8. Від яких факторів залежить просторове розміщення популяції одного виду в екосистемі?

У житті не все просто

■ 9. Скористайтесь правилом обов'язкового заповнення екологічної ніші й поясніть, чому екосистеми без консументів украй рідкісні.

■ 10. Які особливості лісу підвищують його стійкість до пожеж? А які зумовлюють тривале відновлення після пожежі? Як за цими особливостями відрізняється степ?

§ 17. Зв'язки між популяціями в екосистемі

Між популяціями в біоценозі існують різні типи зв'язків

Як ми з'ясували в попередньому параграфі, тривале існування екосистеми, її саморегуляція та стійкість забезпечуються популяціями різних видів, що пов'язані між собою в складі біоценозу. Це об'єднання забезпечується різними типами зв'язків (рис. 17.1). Основним типом зв'язку між популяціями різних видів є **трофічний¹ зв'язок**, за якого організми, їхні мертві рештки чи продукти життєдіяльності є джерелом їжі для організмів інших видів. Часто одні популяції створюють умови для існування особин других популяцій. Цей тип зв'язку називають **топічним²**. Наприклад, птахи, що гніздяться на гілках дерева, пов'язані з ним топічними зв'язками, як і світлолюбні рослини, що створюють під своєю кроною затінені умови для тінелюбних. Завдяки топічним зв'язкам організми одного виду використовують видозмінене іншим видом середовище. **Форичний³ зв'язок** виникає тоді, коли представники однієї популяції беруть участь у поширенні особин іншої популяції. Яскравими прикладами такого зв'язку є перенесення плодів лопуха на шерсті травоядних ссавців, яєць глистів — на ногах мух і тарганів (тому важливо не допускати контакту цих тварин зі стравами!), а насіння рослин (вишні, чорниць, горобини) — у травній системі птахів. Якщо особини однієї популяції використовують для побудови власного житла рештки особин інших популяцій, то виникає **фабричний⁴ зв'язок**. Так, птахи використовують гілочки дерев, траву й пір'їни для конструювання гнізд, мурахи — хвоїнки для спорудження мурашника тощо.

¹ Від грец. *trophe* — їжа.

² Від грец. *topos* — місце.

³ Від грец. *phorae* — носіння.

⁴ Від лат. *fabrico* — виготовляти.

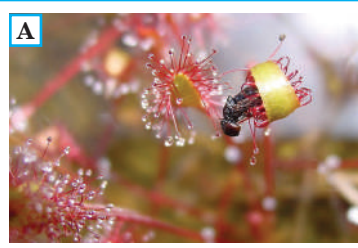


Рис. 17.1. Різні типи зв'язків між популяціями в біоценозі

А. Трофічний зв'язок: муха «влипла» у слиз росички, яка її перетравить за кілька днів.

Б. Топічний зв'язок: кактуси птахами ростуть у затінку куща паркінсонії, де волого в ґрунті.

В. Форичний зв'язок: насіння горобини поширюється вільшанкою завдяки поїданню плодів.

Г. Фабричний зв'язок: личинка волохокрильця використовує для побудови «будиночка» черепашки равликів.

Речовини переміщуються екосистемою по трофічних ланцюгах

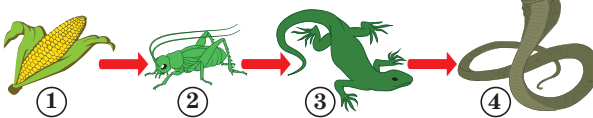
Основним типом зв'язків, що сполучає популяції в єдиний біоценоз, є трофічні. При цьому представники одних видів стають джерелом їжі для інших, яких також хтось з'їдає. Гусінь їсть листя рослин, синиці їдять гусінь, а яструби — синиць. Подібні послідовності «хто кого їсть» утворюють **трофічні (харчові) ланцюги**.

Кожен учасник трофічного ланцюга посідає свій трофічний рівень. На початку трофічного ланцюга перебувають організми, які створюють основу для харчування всієї екосистеми. Такі автотрофічні організми, що перетворюють неорганічні речовини в органічні, належать до трофічного рівня продуцентів. Як ви пам'ятаєте, найчастіше це рослини, здатні до фотосинтезу.

Ними харчуються рослиноїдні організми, яких відносять до трофічного рівня консументів першого порядку. Консументів першого порядку поїдають уже м'ясоїди — консументи другого порядку, а їх — консументи вищих порядків. Зазвичай на найвищих трофічних рівнях розташовуються великі хижаки чи паразити — у них немає природних ворогів, які б їх з'їдали, тому вони є кінцевою ланкою трофічного ланцюга.

Рештки продуцентів і консументів розкладаються редуцентами до неорганічних речовин. Цей процес виводить хімічні елементи з трофічного ланцюга, що дає змогу їм стати компонентами інших ланцюгів. Утім оскільки мертві рештки організмів містять поживні речовини, вони можуть стати їжею для **детритофагів**¹ — гетеротрофних організмів, які харчуються органічним матеріалом, що розкладається. Поїдання детритофагами рослинних решток розпочинає новий трофічний ланцюг. Такий харчовий ланцюг, що бере початок від мертвих решток, називають **детритним**, тоді як той, що починається поїданням живих продуцентів — **пасовищним** (рис. 17.2).

Пасовищний харчовий ланцюг



Детритний харчовий ланцюг

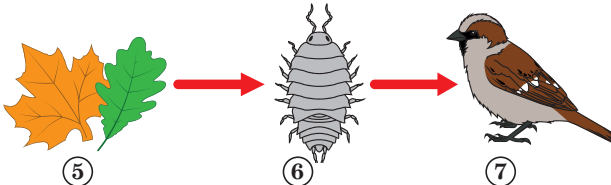


Рис. 17.2.
Харчові ланцюги

1. Кукурудза (продуцент).
2. Сарана (консумент I порядку).
3. Ящірка (консумент II порядку).
4. Змія (консумент III порядку).
5. Опале листя (рештки продуцента).
6. Мокриця (консумент I порядку).
7. Горобець (консумент II порядку).

¹ Від лат. *detritus* — розпад і грец. *phagos* — той, що пожирає.

Трофічні мережі виникають, коли трофічні ланцюги перетинаються

Зазвичай у природних екосистемах окрема популяція є компонентом одразу кількох трофічних ланцюгів. Наприклад, зайців їдять не тільки вовки, але й лисиці та яструби, а синиці харчуються як комахами, так і насінням і плодами рослин. Унаслідок таких перетинів ланцюгів формується складна структура харчових взаємин у біоценозі — **трофічна мережа** (рис. 17.3).

Навіть трофічні мережі бідних на види екосистем є дуже складними й заплутаними тому, що різні організми мають відмінні харчові вподобання: хтось живиться кількома іншими видами, а хтось — декількома десятками. Крім

того, популяція може розміщуватися на кількох трофічних рівнях водночас. Особливо це стосується всеїдних організмів, як-от ведмеда чи їжака, що живляться як рослинною, так і тваринною їжею. Також на різних етапах життєвого циклу може змінюватися тип їжі: водні личинки комарів фільтрують воду, ловлячи мікроорганізми, у той час як дорослі комарі харчуються рослинними соками чи кров'ю. При цьому, що більш розгалуженою є трофічна мережа, то більш стійкою є екосистема. Така залежність зумовлена тим, що в розгалуженій трофічній мережі в організмів завжди є «запасний варіант» кого з'їсти.

Обмежена довжина трофічних ланцюгів зумовлена втратами енергії

Кількість трофічних рівнів у ланцюзі обмежена: для більшості ланцюгів їх п'ять-шість. Річ у тім, що в процесі переходу з одного рівня трофічного ланцюга на інший завжди втрачається значна частина енергії — близько 90 %. Це пов'язано, по-перше, із тим, що більшість поглинутої енергії витрачається організмами для задоволення власних потреб: підтримання життєдіяльності, а також на пошук, поглинання та перетравлення їжі. По-друге, втрати зумовлені тим, що перетворення енергії в біохімічних процесах є ефективним далеко не на 100 %. Тобто під час реакцій частина енергії завжди втрачається у вигляді тепла. По-третє, не всі організми одного трофічного рівня поїдаються: деякі вмирають своєю смертю, розкладаються редуцентами до найпростіших неорганічних сполук і виводяться з трофічного ланцюга. Як наслідок, від продуцентів (наприклад, зелених рослин) до консументів (травоїдних тварин) доходить лише близько 10 % енергії (рис. 17.4). А до наступного рівня — хижа-

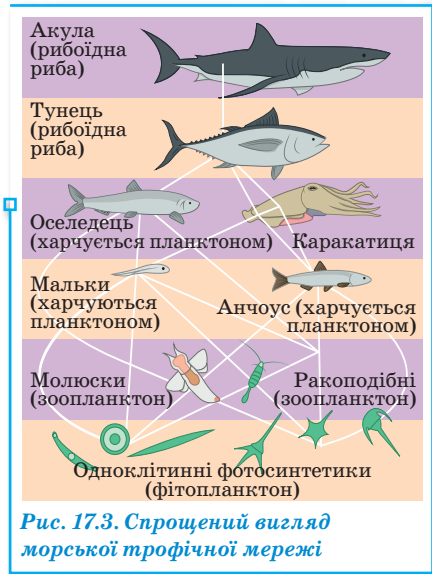


Рис. 17.3. Спрощений вигляд морської трофічної мережі

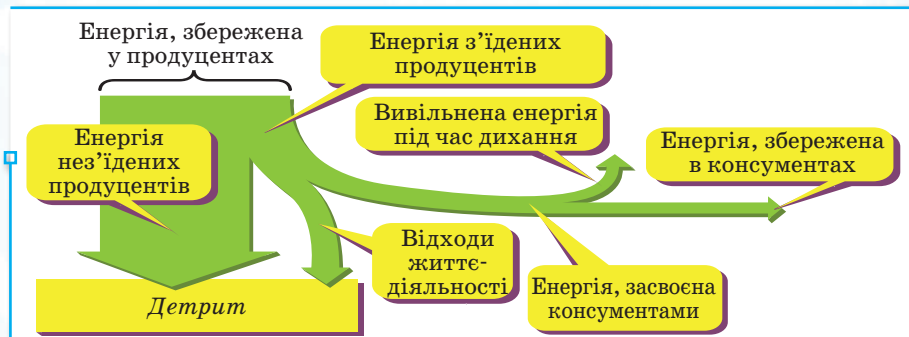


Рис. 17.4. Схема потоку енергії в екосистемі

Енергія, яку запасили продуценти в органічних речовинах своїх тіл, переходить до консументів частково, оскільки більшість продуцентів не поїдається й відмирає, стаючи основою детриту. Частина з енергії з'їдених продуцентів утрачається у відходах життєдіяльності консументів, а решта — засвоюється. Засвоєна енергія використовується консументами для забезпечення нею власних процесів і вивільняється для цього в процесі дихання. Решта ж енергії запасється в органічних речовинах консументів.

ків, що з'їдають травоядних тварин, 10 % від 10 %, тобто лише 1 % від вихідної кількості енергії. Тому такий харчовий ланцюг не можна продовжувати без кінця: рано чи пізно в екосистемі просто не вистачить енергії для формування наступного трофічного рівня.

У результаті енергія, що надходить із довкілля, запасється автотрофними продуцентами в хімічних зв'язках органічних речовин, які вони утворюють у процесі фото- чи хемосинтезу. Надалі разом зі сполуками ця енергія передається з рівня на рівень, при цьому зменшуючись в обсязі, оскільки «втрачається» на кожному з них. Варто пам'ятати, що згідно з першим законом термодинаміки енергія нікуди не зникає, вона лише перетворюється з однієї форми в іншу. У випадку з екосистемою енергія Сонця трансформується в енергію зв'язків у хімічних сполуках, яка використовується організмами й вивільняється в навколишнє середовище у вигляді теплоти. Зрештою, хімічна енергія органічних речовин розсіюється у вигляді теплоти після розщеплення органічних речовин редуцентами. Із зазначеного вище випливає те, що функціонування екосистем, а значить і життя на Землі, є залежним від надходження енергії від Сонця¹.

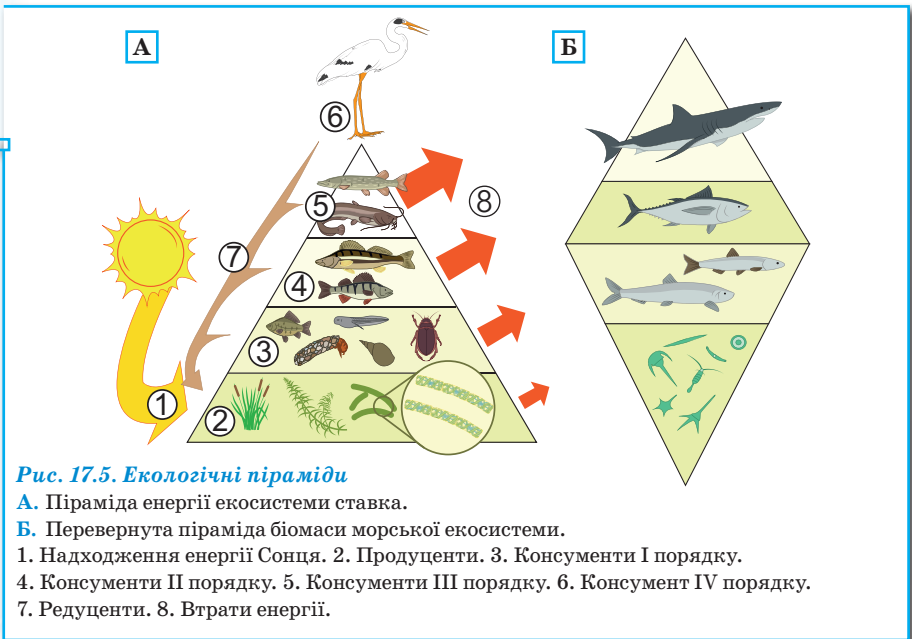
Екологічні піраміди відтворюють кількісні співвідношення між трофічними рівнями

Якщо кількість енергії кожного трофічного рівня подати графічно, то можна отримати екологічну **піраміду енергії** (рис. 17.5, А). Кожен рівень піраміди характеризує енергію трофічного рівня. Відповідно до **правила екологічної**

¹ Звісно, існують хемоавтотрофи, що використовують енергію неорганічних сполук замість енергії Сонця для синтезування органіки. Утім їхній внесок до планетарної біоенергетики є надзвичайно мізерним.

піраміди з трофічного рівня на трофічний рівень передається лише 10 % енергії й сухої речовини, тому площа кожного вищого рівня приблизно в 10 разів менша за площу нижчого. Відповідно, останній, найвищий, рівень піраміди має настільки малу площу, що 10 % від неї вже не вистачає для життєдіяльності організмів наступного рівня й піраміда (як і харчовий ланцюг) завершується. По суті, правило екологічної піраміди є виразом закономірності, про яку йшлося в попередньому розділі: на кожному трофічному рівні використовується набагато більше енергії, ніж передається на наступний.

Точно визначити енергію, запасену в усіх організмах одного рівня, не можливо. Тому на практиці часто будують піраміди біомаси, або піраміди чисельності. Вони відтворюють зміну маси організмів чи їхньої чисельності. Піраміди чисельності, чи біомаси, можуть бути перевернутими, коли на нижніх рівнях організмів менше або їхня маса менша, ніж в організмів вищих рівнів. Така перевернута піраміда чисельності виникає, коли кількість дерев в екосистемі є набагато меншою за кількість дрібних рослиноїдних тварин, що ними живляться. А перевернена піраміда біомаси властива багатьом морським екосистемам. Якщо великі організми-довгожителі харчуються дрібним фітопланктоном, що швидко розмножується, то в окремий проміжок часу його біомаса може бути меншою за біомасу його поживачів, хоча високий темп розмноження фітопланктону забезпечує швидке відновлення харчових ресурсів і робить цю систему стабільною (рис. 17.5, Б).



Елементарно про життя

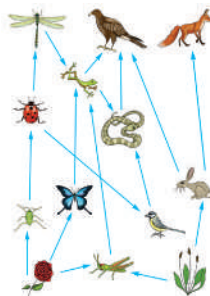
- 1. Увідповідніть опис зв'язку між популяціями видів і його тип.

- 1 утеплення нори борсуком за допомогою опалого листа
- 2 поселення сокола в покинутому гнізді ворона
- 3 закопування білкою горіхів у різних місцях лісу
- 4 висмоктування крові п'явками

- А** трофічний зв'язок
Б топічний зв'язок
В форичний зв'язок
Г фабричний зв'язок

- 2. Зазначте правильну характеристику консумента другого порядку.

- А** гетеротроф, що живиться тваринами
Б автотроф, що не здатний до фотосинтезу
В гетеротроф, що живиться рослинними рештками
Г гетеротроф, що розкладає органічні речовини до неорганічних



- 3. Розгляньте схему трофічної мережі. Визначте, який із зображених організмів є консументом третього порядку.

- А** лисиця **Б** заєць **В** жаба **Г** синиця

- 4. Скориставшись правилом екологічної піраміди, визначте біомасу продуцентів, необхідну для існування в екосистемі консументів другого порядку, суха маса яких становить 500 кг.

- А** 5 т **Б** 5000 г **В** 500000 кг **Г** 50 т

- 5. Увідповідніть організм і його трофічний рівень у харчовому ланцюзі.

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| 1 дощовий черв'як | А продуцент |
| 2 клен | Б консумент I порядку |
| 3 дрізд | В консумент II порядку |
| 4 яструб | Г консумент III порядку |
| | Д редуцент |

У житті все просто

- 6. Схарактеризуйте два-три трофічних ланцюги екосистеми озера. Створіть схему харчової мережі на їхній основі.

- 7. У вигляді таблиці схарактеризуйте спільні й відмінні риси детритофагів і редуцентів.

У житті не все просто

- 8. Чи можуть популяції двох видів водночас бути пов'язані кількома типами зв'язків (трофічними й топічними, фабричним і топічними тощо)? Наведіть приклади таких ситуацій, якщо вони можливі.

- 9. Складіть харчовий ланцюг, що починається з хемоавтотрофного організму. Де такі ланцюги поширені та які їхні особливості?

- 10. Які є експериментальні докази правила екологічної піраміди? Чи може з рівня на рівень передаватися інша кількість енергії та сухої речовини, більша й менша за 10 % ?

Екосистеми постійно змінюються під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів

Екосистема не є сталим у часі біологічним об'єктом. У ній постійно відбуваються зміни, значна частина яких пов'язана зі змінами абіотичних факторів. Особливо чітко помітні сезонні зміни в екосистемах помірних широт: узимку в українському лісі відсутня однорічна трав'яна рослинність, комахи переживають холоди у вигляді яєць чи глибоко занурившись у ґрунт, перелітні птахи відлітають далеко на південь. Унаслідок цього видовий склад і трофічні мережі літньої та зимової екосистем істотно відрізняються.

Утім зміни в екосистемах не обов'язково пов'язані зі зовнішніми впливами. Одні угруповання організмів можуть змінюватися на інші, створюючи зі свого боку передумови для подальших змін. Наприклад, лісове озеро через відкладання органічних решток на дно мілішає та заболочується з часом. Далі в болотній екосистемі відмерлі болотні мохи й інші рослини поступово формують шар ґрунту, на якому можуть рости лугові трави — і болото повільно перетворюється на луку. Лука, у ході формування потужного ґрунтового шару, заростає чагарниками, а згодом і деревами. Урешті-решт, через 120–150 років на місці колишнього озера утворюється лісова екосистема (рис. 18.1). Інший приклад: вирубка в сосновому лісі в перший рік після зникнення дерев заростає травами й однорічними кущами, потім чагарниками та швидкозрослими листяними деревами, які поступово витісняються хвойними.

Таку послідовну зміну біоценозів на певній території називають **сукцесією**¹. Під час неї кожне угруповання організмів формує умови для існування наступних угруповань. Тому, не пройшовши попередній етап сукцесії, екосистема не може розпочати наступний.

Основними причинами сукцесії є незбалансованість колообігу речовин і зовнішні зміни середовища

Усі організми впливають на довкілля: вони поглинають речовини з нього й вивільняють туди продукти своєї життєдіяльності. Оскільки процеси відновлення запасів речовин у екосистемі не завжди є збалансованими з процесами їхнього використання, то з часом ресурси екосистеми можуть вичерпуватися. Наприклад, через це пересихало болото у вищенаведеному прикладі сукцесії:

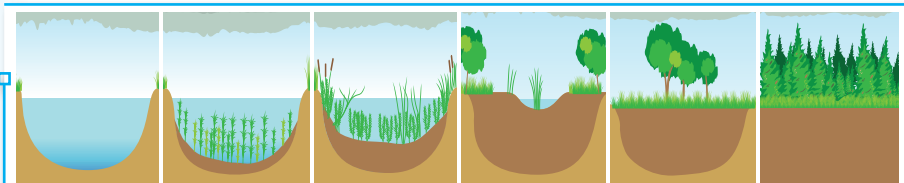


Рис. 18.1. Перетворення лісового озера на болото, болота на луку, а луки на ліс

¹ Від лат. *successio* — спадкоємність, успадкованість.

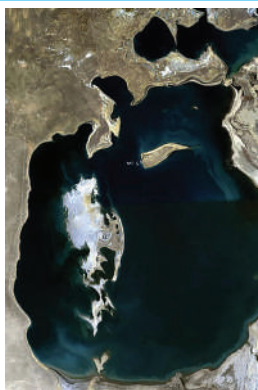


Рис. 18.2. Аральське море у 1989 році (угорі) і 2014 році (унизу)

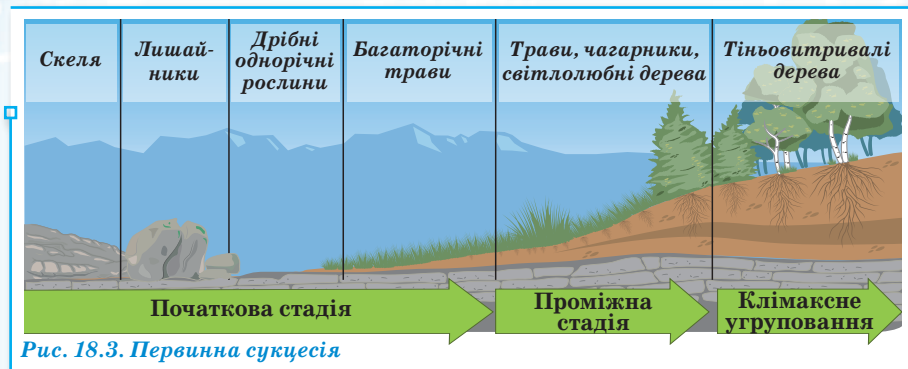
вода поглиналася організмами й випаровувалася, але її запаси не встигали відновлюватися, й болото перетворювалося на луку. З другого боку продукти життєдіяльності й мертві рештки повинні вчасно розщеплюватися, не лишаючи по собі й сліду. Якщо цього не стається, то умови проживання організмів також змінюються. Тому в прикладі лісове озеро й заболочувалося. Ці незбалансованості спричиняють зміну умов біотопу й видам, пристосованим до старих, жити стає «незручно». Зате інші види в нових, видозмієних біоценозах, умовах отримують перевагу й витісняють попередні. У результаті біоценоз змінюється: популяції одних видів зменшуються й зникають, а інших — збільшуються й починають домінувати. Тобто зміна біоценозу біотопу внаслідок незбалансованості колообігу речовин призводить до зміни біотичної складової на більш стійку за таких умов.

Причиною сукцесії можуть бути й зовнішні зміни. Наприклад, заболочування озера може відбуватися через зменшення кількості води, що до нього надходить. Аналогічне сталося з Аральським морем, яке пересохло внаслідок значного водовідбору з річок, що в нього впадали, на потреби зрошення розораного степу (рис. 18.2). На місці озерних¹ екосистем сформувалася пустеля Аралкум. Також причиною сукцесії може бути безпосереднє втручання людини: виїдання трав'янистої рослинності в степу внаслідок випасання спричиняє суттєву зміну видового

складу продуцентів, і, як наслідок, консументів у степовій екосистемі. Хоча буває й навпаки: припинення випасання в заповідниках, створених на місцях колишніх пасовищ, є причиною витіснення трав'янистої рослинності кущами.

Якщо в результаті сукцесії сформується така екосистема, у якій зміни середовища, спричинені одними видами, компенсуються діяльністю інших, то виникне стійке угруповання. Таку зрілу стабільну екосистему зі стійким угрупованням називають **клімаксною**. У ній немає внутрішніх передумов для подальших змін (розглянутому раніше прикладі заболочування такою екосистемою є ліс), тому вона є кінцевим етапом сукцесії. Ця екосистема характеризується значним видовим різноманіттям, високою біомасою, ефективною саморегуляцією й високою стійкістю. Клімаксна екосистема теоретично може існувати необмежено довго, якщо не станеться різкої зміни умов чи природного катаклізму, які зруйнують систему та спричинять початок нової сукцесії.

¹Озерами називають водойми, що не пов'язані протоками з морями чи океанами. Аральське й Каспійське моря, з огляду на це визначення, є озерами.



Завдяки первинній сукцесії екосистема виникає там, де її до цього не існувало

Розрізняють два основних типи сукцесій: первинну та вторинну. Якщо сукцесія розпочинається на територіях, де раніше не мешкали організми (скелі, застигли потоки вулканічної лави, схили гір після сходження лавин, сипучі піски), то її називають **первинною**. Ключовим фактором первинної сукцесії є ґрунтоутворення, без якого неможлива поява складних угруповань організмів. Першими на безжиттєвих кам'янистих субстратах оселяються лишайники, які руйнують породу та збагачують її поверхню доступними мінеральними речовинами. Завдяки цьому формується первинний ґрунт, на якому проростають мохи й найневибагливіші трав'янисті рослини. Далі, залежно від місцевих факторів, можуть з'явитися чагарники, дерева чи більш складні рослинні угруповання, у яких оселяються відповідні види тварин (*рис. 18.3*).

Інакше відбувається заселення сипучих пісків. Проблема такої місцевості полягає в тому, що пісок не тримається на одному місці й постійно пересипається вітром. Спочатку на пісках оселяються злаки, корені яких сповільнюють пересипання. На них починають жити комахи. Поласувати останніми приходять ящірки. Згодом осока ще більше закріплює ґрунт своїми кореневищами. На малорухомому ґрунті з'являється шар решток, на якому оселяються однорічні трави й невеликі куці, а з ними й рослиноїдні тварини. Задля полювання на них прилітають птахи, приповзають змії й приходять представники інших хижих видів. Ґрунт усе більше збагачується хімічними елементами з відмерлих решток і фіксується, різноманіття рослин і тварин зростає, і внаслідок формується клімаксна екосистема (*рис. 18.4*).



Вторинна сукцесія забезпечує перетворення одних біоценозів на інші

Вторинна сукцесія відбувається в тих місцях, де екосистема вже існувала. Наприклад, відновлення лісу після пожежі, заростання лісової вирубки чи покинутого пшеничного поля. Вторинна сукцесія відбувається набагато швидше, оскільки не потребує тривалого ґрунтоутворення. До того ж організми чи їхні захищені форми (спори, насіння), що вже є на цій території, одразу стають основою для початку сукцесії. Однак повне відновлення зрілої клімаксної екосистеми може тривати кілька сотень років.

У процесі сукцесії змінюються основні структури екосистеми

Сукцесії беруть початок з формування нових екологічних ніш унаслідок зміни умов середовища. Ці ніші заповнюються організмами, що мігрують із прилеглих екосистем. Здебільшого, це екологічно пластичні еврибіонтні види, що здатні витримувати значні коливання умов, властиві неосвоєним ділянкам. На початкових стадіях сукцесій видове різноманіття, продуктивність (тобто кількість утвореної популяціями речовини за одиницю часу) і загальна біомаса екосистеми є незначними. Згодом завдяки змінам середовища, що здійснюють організми, умови проживання стають дедалі стабільнішими, і нові види мігрують до екосистеми. Тому в процесі сукцесії наведені вище показники поступово зростають, а трофічна мережа стає більш розгалуженою (рис. 18.5, А). Це забезпечує підвищення стійкості екосистеми й покращення її саморегуляції, тому різкі зміни чисельності окремих популяцій із часом майже зникають. Зростання конкуренції між видами спричиняє витіснення одних і домінування інших, більш пристосованих до поточних умов. Такі види є менш екологічно пластичними (тобто стенобіонтами), зате більш конкурентно спроможними (рис. 18.5, Б). Згодом кількість вільних екологічних ніш зменшується, а колообіг речовин пришвидшується. Організми видозмінюють сере-

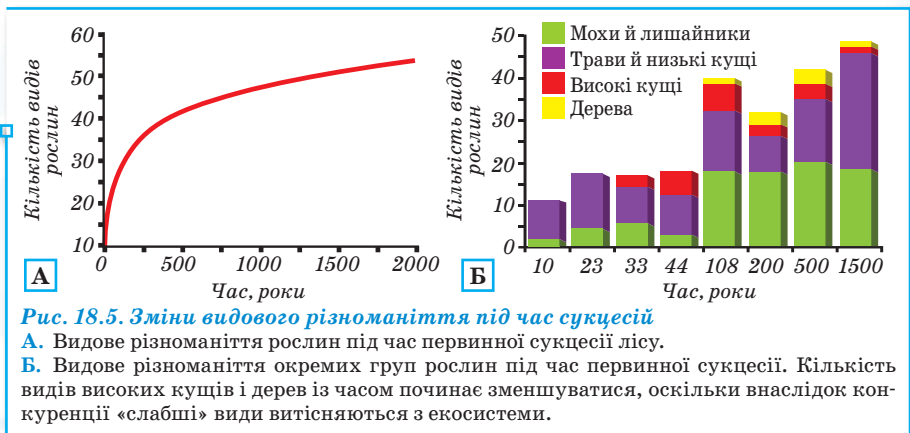


Рис. 18.5. Зміни видового різноманіття під час сукцесії

А. Видове різноманіття рослин під час первинної сукцесії лісу.

Б. Видове різноманіття окремих груп рослин під час первинної сукцесії. Кількість видів високих кущів і дерев із часом починає зменшуватися, оскільки внаслідок конкуренції «слабші» види витісняються з екосистеми.

довище життя й це одночасно спричиняє наступні етапи сукцесії. Поступово продуктивність починає спадати й біомаса досягає максимуму в клімакській екосистемі.

Екосистеми відрізняються видовим різноманіттям через еволюційні й екологічні причини

Якщо порівняти подібні екосистеми різних регіонів Землі, то можна помітити значну відмінність у їхній видовій структурі. Вивченням таких особливостей займається наука **біогеографія**. Завдяки дослідженням біогеографів і біогеографинь було з'ясовано, що для більшості груп організмів зі збільшенням географічної широти розташування наземної екосистеми (тобто чим далі вона розміщена від екватора і ближче до полюса) зменшується видове різноманіття (рис. 18.6). Тому екваторіальні й тропічні екосистеми характеризуються більшим різноманіттям організмів, ніж помірні й полярні. Крім того, видове різноманіття відмінне в екосистемах, розташованих на різній довготі: так, у каліфорнійських лісах на 45-ому градусі північної широти проживає 4–7 видів дерев, а от у новозеландських лісах тієї ж широти, але Південної півкулі, — близько 20 видів.

Виокремлюють кілька причин різного видового складу екосистем. Насамперед, це еволюційні (історичні) причини. Від того, які види існували на цій території в давньому минулому, як вони еволюціонували, у яких групах відбувалася адаптивна радіація, а які вимирали — залежить сучасний набір видів певного регіону. Ці види надалі розселялися територією залежно від абіотичних умов: клімату, рельєфу, типу ґрунтів. Оскільки кожен вид толерантний лише до визначеного набору умов, то й виживав він лише там, де є необхідні йому умови. Отже, наступною причиною різноманіття екосистем є абіотичні умови середовища. Опосередковано вони пов'язані з площею біотопу: у великих екосистемах наявне більше різноманіття умов середовища, тому й видове різноманіття в них більше. Згодом популяції видів однієї місцевості вступали в екологічні взаємодії між собою: хтось співпрацював, хтось конкурував, а когось з'їдали. Завдяки цим взаємодіям відбувалося стабілізування складу біоценозу в процесі сукцесії. Зрештою, найбільш пристосовані до абіотичних і біотичних умов екосистеми види залишалися, а решта витіснялася до інших екосистем чи вмирала. Так і формувалися відмінності видової структури різних екосистем.

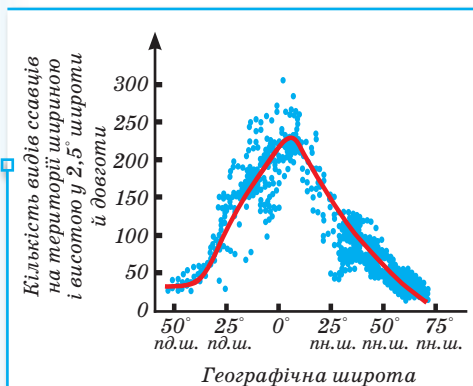


Рис. 18.6. Залежність зміни видового різноманіття ссавців від широти

Елементарно про життя

■ 1. Якщо біоценоз поглинати більше ресурсів, ніж їх утворюється в середовищі, то

А умови біотопу змінюватимуться **Б** сукцесія не відбуватиметься
В кількість продуцентів в екосистемі зростатиме **Г** екосистема загине

■ 2. Серед наведених прикладів сукцесій оберіть первинну.

А відновлення степу на розораному полі

Б поява тропічного лісу на атолі в океані

В відновлення змішаного лісу на схилі гори після буревію

Г зміна рослинного угруповання на полі, де випасають худобу

■ 3. Яка риса НЕ притаманна клімакській екосистемі?

А мале видове різноманіття

Б низька швидкість колообігу речовин

В дуже розгалужена трофічна мережа

Г баланс процесів використання й відновлення ресурсів

■ 4. Із наведеного переліку причин оберіть ті, які зумовлюють наявність популяції виду в складі певного біоценозу.

1 проживання виду в регіоні, де розміщена екосистема **А** 3, 4, 5

2 відповідність меж витривалості виду умовам біотопу **Б** 1, 2, 3, 4

3 наявність у складі виду кількох популяцій **В** 2, 4, 5

4 здатність не програвати конкуренцію іншим видам **Г** 1, 2, 4
за умов, наявних в екосистемі

■ 5. Розташуйте наведені етапи сукцесії в порядку їх проходження.

А поява кущів **Б** поява трав'янистих рослин

В поява дерев **Г** припинення догляду за городом

У житті все просто

■ 6. Чому одні популяції в клімакській екосистемі мають компенсувати вплив інших на середовище?

■ 7. Складіть схему зміни видової структури, продуктивності й біомаси екосистеми в процесі сукцесії. Проаналізуйте взаємозалежності між ними.

■ 8. Поясніть еволюційні та екологічні причини наявності в екосистемах українських лісів дубів і опеньків.

У житті не все просто

■ 9. Спрогнозуйте сукцесійні зміни в екосистемах помірного клімату внаслідок глобального потепління.

■ 10. Чи можна вважати сукцесію еволюційним процесом? Що спільного в сукцесії та еволюції?

■ 11. В окремих екосистемах видове різноманіття значно перевищує таке у сусідніх. Які причини виникнення таких «гарячих точок» біорізноманіття?

§ 19. Агроценоз

Людина створює агроценози, щоб прогодувати себе

Тривалий час людські спільноти існували за рахунок того, що їм удавалося віднайти чи вполювати в природі. Лише близько 10 тис. років тому на Близькому Сході в регіоні Родючого півмісяця (рис. 19.1) в процесі неолітичної революції люди перейшли до осілого способу життя з використанням землеробства й тваринництва (про це йтиметься у § 39). Із того часу все більші площі суходолу використовуються для висівання окультурених рослин і випасання одомашнених тварин. Такі, створені людиною для отримання сільськогосподарської продукції, екосистеми називають **агроекосистемами**¹, а угруповання організмів у них — **агроценозами**. Наразі близько 30 % поверхні суші зайнято агроекосистемами, і вони забезпечують людство 90 % всієї їжі, виробляючи близько 2,5 млрд тонн сільськогосподарських продуктів на рік. Третина цієї площі обробляється як рілля, а решта — це пасовища. В Україні більше 60 % земель використовують для сільськогосподарських потреб.

Усі агроекосистеми можна поділити на два основних типи: невеликі фермерські угіддя, що обробляються завдяки м'язовій силі людини й тварин, та великі сільськогосподарські комплекси, для роботи на яких задіяна спеціалізована техніка, а продуктивність² значно перевищує місцеві потреби в їжі (рис. 19.2). До першого типу належать городи й сади, невеликі пасовища. Великі ж агроекосистеми — це поля, з яких систематично збирають величезний

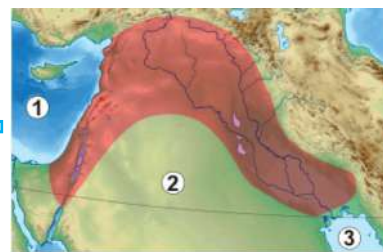


Рис. 19.1. Родючий півмісяць — територія, де розпочалося окультурення рослин й одомашнення тварин

1. Середземне море.
2. Аравійський півострів.
3. Перська затока.



Рис. 19.2. Зразки агроекосистем

- А.** Городи й сади біля замської садиби. **Б.** Житнє поле на українському Поділлі.
В. Високогірне карпатське пасовище.

¹ Від грец. *agros* — поле.

² Нагадаємо, що продуктивністю називають зростання біомаси чи енергії екосистеми за одиницю часу.

урожай, а також колгоспні пасовища. На сьогодні розподіл площі між цими типами агроєкосистем майже рівномірний, оскільки більш розвинені країни віддають перевагу великим угіддям, тоді як менш розвинені — дрібним фермерським.

Щоб повернути вилучені з урожаєм хімічні елементи до ґрунту, використовують добрива

Однією з основних рис екосистеми є відносна замкненість колообігу хімічних елементів. Для агроєкосистем такий колообіг є незамкненим. Річ у тім, що людина систематично вилучає частину біомаси у вигляді врожаю чи приплоду. Тому хімічні елементи не повертаються редуцентами до ґрунту, що спричиняє швидке виснаження мінеральних запасів. Унаслідок цього продуктивність агроєкосистеми повинна б швидко зменшуватися з часом. Аби запобігти цьому й відновити запаси мінеральних речовин у ґрунті, у сільськогосподарські землі систематично вносять добрива. Додавання недостатньої кількості добрив не дозволить отримати максимальний урожай, тому часто їх уносять сповна. Це, безперечно впливає на мінеральний склад прилеглих природних екосистем, куди з поверхневими й ґрунтовими водами потрапляють добрива. У прісних водоймах такі дії можуть спричинити **евтрофікацію** — надмірне розмноження ціанобактерій і водоростей у товщі води, через яке у водоймі виникає брак світла й кисню і, як наслідок, збільшується смертність водних організмів. Тому добрива треба вносити у відповідних кількостях, для з'ясування яких проводять хімічний аналіз складу ґрунту.

Низьке видове різноманіття агроценозів є наслідком гонитви за максимальною продуктивністю й має ряд недоліків

Суттєво відрізняється й видова структура агроценозу. Для того, щоб продуктивність угідь була максимальною, господарі намагаються мінімізувати конкуренцію між видами й втрати від шкідників (рослиноїдів, хижаків чи паразитів). Тому на сільськогосподарських полях чи у великих садах вирощується один або кілька домінантних видів. Решта конкурентів і шкідників знищуються людиною шляхом прополювання та обробки пестицидами, що вбивають бур'яни, комах-рослиноїдів, паразитичні грибки тощо. Також фермери намагаються попередити потрапляння шкідників до агроєкосистеми, наприклад, завдяки парканам на межі пасовищ чи полів (*рис. 19.3*).

Таке підтримання низького видового різноманіття потребує значного внесення енергії й ресурсів з боку людини. Тому, крім Сонця, джерелом енергії агроєкосистеми є й діяльність людини. Але варто розуміти, що вкладена людиною енергія не перетворюється на біомасу, а лише сприяє більш ефективному запасанню енергії Сонця в хімічних зв'язках, тобто підвищує продуктивність агроценозу.

Однак домінування одного чи кількох вирощуваних видів у агроценозі не означає відсутності там інших видів. Крім рослин, до складу агроєкосистеми

**А****Б**

Рис. 19.3. Підтримання домінантного стану вирощуваного виду

А. Обприскування поля гербіцидами для знищення бур'янів.

Б. Паркан проти кролів на межі пасовища в Австралії.

входять також ґрунтові мікро- й макроорганізми, рослиноїдні комахи, хижаки, що полюють на комах, птахи, гризуни, змії. Так, кількість видів на звичайному пшеничному полі подекуди сягає майже тисячі!

Низьке видове різноманіття має й негативні наслідки. Трофічна мережа агроценозу є менш розгалуженою, а тому й здатність до саморегуляції — поганою. Через це агроценози дуже нестабільні, не можуть підтримувати сталість складу без втручання людини й дуже схильні до сукцесії. Варто лише залишити грядку, сад чи поле без нагляду, як дуже швидко вони перетворяться на ділянку луки чи лісу (рис. 19.4). Річ у тім, що в агроценозі людина здійснює штучний добір, вирощуючи лише потрібні їй організми, які мають високу продуктивність. За умов штучної екосистеми сільськогосподарським культурам не потрібно активно змагатися з конкурентами, і внаслідок цього їхня здатність стає слабшою. Тому якщо людина припиняє докладати зусиль для підтримання поточного стану агроєкосистеми, то дуже швидко дикі види беруть гору над культурними і відбувається сукцесія, під час якої видове різноманіття зростає, а продуктивність зменшується.

Також для сільськогосподарських екосистем характерні періодичні спалахи чисельності окремих видів — гризунів, комах-шкідників, паразитичних грибів. Це зумовлено тим, що механізми регуляції чисельності (наприклад, хижацькі чи паразитичні екологічні взаємодії) є недосконалими й не встигають компенсувати різке збільшення кількості особин одного виду. Стійкість агроценозу теж невисока, тому негативні впливи (надмірна тривалість спеки, дефіцит вологи тощо) дуже впливають на продуктивність, знижуючи її. І турбота про угіддя повністю лягає на плечі людини.



Рис. 19.4. Покинтий садок біля садиби

Існує кілька способів підвищення продуктивності агроценозу

Основним завданням агроєкосистеми є створення врожаю чи поголов'я, які надалі переробляються в харчові продукти. Тому нині тривають пошуки способів підвищення продуктивності сільськогосподарських екосистем із метою отримання більших урожаїв. Одним із засобів підвищення продуктивності є **сівозміна** — чергування різних культур і парів на одній ділянці. Вона дозволяє більш ефективно використовувати ґрунтові ресурси, оскільки культурні рослини різних видів відрізняються своїми вимогами до них. Наприклад, бобові потребують більше Цинку, а картопля — Бору. Тому якщо провести сівозміну бобових на картоплю, то запаси як Цинку, так і Бору вичерпуються повільніше. Окрім того, різні культури мають відмінну стійкість до шкідників, приваблюють різних комах й неоднаково впливають на мікробіологічні характеристики ґрунту, що підвищує загальну стійкість екосистеми. Час від часу протягом сівозміни поля залишають під паром, тобто незасіяними, що дозволяє природним організмам заселити поле й дає час на хоча б часткове відновлення його ресурсної бази.

Іншим способом підвищення продуктивності є використання якісних сортів рослин і порід тварин. Завдяки досягненням селекції та генетики щороку виводять нові, менш вибагливі до умов і більш продуктивні сорти, використання яких дозволяє збільшити обсяги врожаю й приплоду (докладніше про селекцію рослин і тварин ітиметься в § 40). Для зменшення конкуренції між рослинами одного виду важливим є правильне просторове висівання чи висаджування (рис. 19.5). Якщо організми будуть розміщені занадто щільно, то зросте взаємозатінення й конкуренція за мінеральні ресурси. Але якщо, навпаки, розташувати їх нещільно, то частина ресурсів біотопу не буде використана й загальна продуктивність агроєкосистеми зменшиться. Кількість добрив і пестицидів, що вносяться в поля й сади, повинна бути раціонально розрахована, щоб не завдавати шкоди ані агроценозу, ані суміжним природним біоценозам. Крім того, їхнє економне використання є фінансово вигіднішим. Зрештою, адекватний полив території чи підтримання оптимальної вологості ґрунту є необхідним чинником високої продуктивності агроценозу.

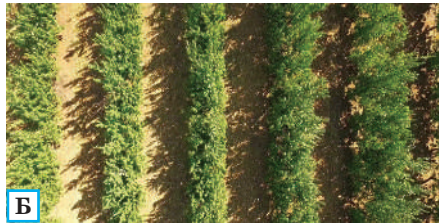


Рис. 19.5. Ефективна просторова структура агроценозу

Правильне просторове розміщення кущів винограду (А) і яблучних дерев (Б) сприяє меншому взаємозатіненню й зменшує конкуренцію за ґрунтові ресурси.

Елементарно про життя

- 1. Яка з наведених екосистем НЕ є агроекосистемою?
А ставок для розведення форелі Б грядка з огірками
В вигін для випасу корів Г озеро посеред села
- 2. Висока продуктивність агроценозу досягається завдяки
А винищенню видів-конкурентів для сільськогосподарської культури
Б розведенню культурних і диких рослин поряд
В максимально щільному засіванню території
Г збільшенню кількості сонячної енергії, що надходить
- 3. Схильність агроекосистеми до сукцесії зумовлена
А унесенням добрив
Б відсутністю редуцентів
В нестабільністю агроценозу
Г високою розгалуженістю трофічних ланцюгів
- 4. Використання досконаліших сортів і порід у господарстві дозволяє
А зменшити стійкість агроценозу
Б збільшити продуктивність агроценозу
В зменшити витрати на насіння
Г збільшити об'єми добрив, що вносяться
- 5. Увідповідніть захід для підвищення продуктивності агроценозу та його обґрунтування.
- | | |
|--|--|
| 1 унесення адекватної кількості добрив | А упровадження періоду для відновлення ґрунтових ресурсів |
| 2 висаджування окремих організмів на певній відстані | Б зменшення продуктивності окремої рослини |
| 3 сівозміна | В підтримання оптимальної вологості ґрунту |
| 4 періодичний полив | Г уникнення пригнічення росту через надлишок мінеральних солей |
- Д зменшення конкуренції

У житті все просто

- 6. Обґрунтуйте твердження про те, що енергія, яку вкладає людина, не запа-сається в органічній речовині агроценозу.
- 7. Чому екосистема не може бути високопродуктивною й стійкою водночас?
- 8. Складіть порівняльну таблицю природної екосистеми й агроекосистеми.

У житті не все просто

- 9. Схарактеризуйте всі причини спалаху паразитичного грибка фітофтори на полях картоплі.
- 10. Для підвищення вмісту Нітрогену в землі на полях висівають бобові рослини. Як вони сприяють збагаченню ґрунту? Чим це краще за внесення добрив, що містять Нітроген?
- 11. У чому полягає суть органічного землеробства? Які його основні переваги й недоліки?

§ 20. Біосфера

Біосфера об'єднує всі екосистеми Землі

Коли йшлося про екосистеми, то ми зауважували, що їхній розмір може суттєво відрізнятись: і невеличке лісове озерце, і гігантський тропічний ліс можна розглядати як єдину екосистему. Кордони екосистем зазвичай умовні, й організми спроможні легко їх перетинати та взаємодіяти з організмами з інших екосистем. Зрештою, усі екосистеми Землі пов'язані між собою спільною атмосферою, міграцією організмів, колообігами речовин, потоками енергії в глобальну світову екосистему, яка має назву **біосфера**. Біосфера, як і будь-яка екосистема, містить біотичний та абіотичний компоненти — усіх живих істот планети й середовище їхнього мешкання відповідно. Поняття «біосфера» 1875 року запропонував австрійський учений Едуард Зюсс, але найповніше розвинув концепцію біосфери у своїх працях Володимир Вернадський — геніальний учений, перший президент Української академії наук.

Межі біосфери визначаються діапазоном толерантності найвитриваліших організмів

Межі біосфери визначаються межами зустрічності організмів у воді, повітрі та в землі (рис. 20.1), які залежать від діапазону толерантності живих істот. Нижня межа біосфери знаходиться на глибині кількох кілометрів у літосфері. Зі зростанням глибини збільшується й температура, тому хемоавтотрофні бактерії не виживають на великих глибинах. У гідросфері нижня межа біосфери сягає дна, оскільки організми існують у воді на всіх глибинах. Верхня межа біосфери сягає 20–22 км у атмосфері¹. Максимальна висота поширення живого визначається озоновим шаром (20–30 км), вище за який ультрафіолетове випромінювання знищує всі живі організми.

Більшість організмів мешкає в набагато вужчому шарі — від глибини кількох метрів під землею до кількох десятків метрів над поверхнею Землі. У планетарних масштабах біосфера невелика: її маса становить лише 0,1 % маси Землі, а сумарна маса організмів — лише одну мільйонну маси біосфери. Однак організми (а також людина) є одним із найважливіших геологічних факторів, що видозмінює обличчя нашої планети.

¹ Утім, у 2017 році життєздатні спори бактерій було знайдено на поверхні Міжнародної космічної станції на висоті 400 км.

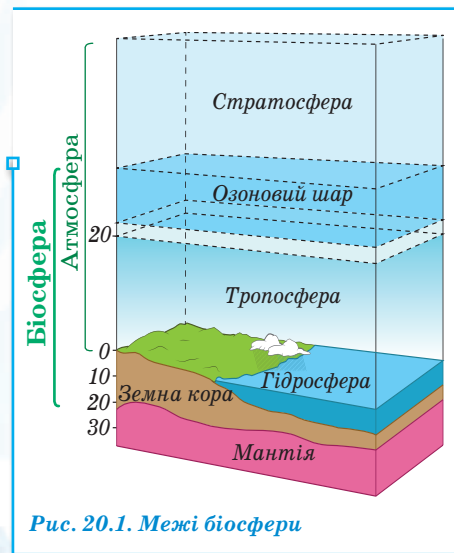


Рис. 20.1. Межі біосфери

Біосфера має властивості глобальної екосистеми

Біосфера є величезною екосистемою, розміром із цілу планету! Разом із тим, для неї характерні властивості, спільні для всіх екосистем. Сукупність компонентів біосфери характеризується величезним різноманіттям організмів і середовищ їхнього мешкання. Біосфера — це найбагатша на види екосистема на Землі. Наразі на нашій планеті мешкає до 9 млн видів організмів, а загалом за всю історію біосфери налічують понад 100 млн видів.

Як і окрема екосистема, біосфера має **стійкість** і **здатність до саморегуляції**, що забезпечуються розгалуженістю трофічних мереж і видовим різноманіттям. Завдяки міжвидовим взаємодіям, обміну організмами між екосистемами (наприклад, перельотам птахів, міграціями риб) і сукцесіям біосфера підтримує свою сталість у часі. Саме завдяки стійкості біосфери вже кілька разів переживала масштабні катастрофи (наприклад, кисневу катастрофу, льодовикові періоди), після яких утрачала мільйони видів (чого вартує лише крейдяно-палеогенове вимирання, під час якого загинули динозаври разом із майже 75 % усіх видів Землі), але все одно відновлювалася.

Біосфера характеризується **централізованістю**. Як зазначав Володимир Вернадський, «організми формують основу біосфери та є її центральним компонентом».

Біосфера — **відкрита система**, тобто вона обмінюється речовиною й енергією з іншими системами. Насамперед, це стосується сонячної енергії, без надходження якої існування біосфери є неможливим. У ній **наявний потік енергії**, яка поглинається організмами, передається ланцюгами живлення й вивільняється до космічного простору у вигляді теплоти. Водночас надходження речовин до біосфери ззовні обмежене, тому ще одна її властивість — наявність замкнених **колообігів речовин**. Саме вони забезпечують тривале існування біосфери без виснаження власних ресурсів (докладніше про колообіги йтиметься в наступному параграфі).

Жива речовина біосфери виконує важливі функції

Володимир Вернадський у понятті «**жива речовина**» об'єднав усю сукупність організмів планети, тобто біотичний компонент біосфери. Для живої речовини характерна наявність власного запасу енергії, що проявляється в процесах зміни довкілля, розмноження й поширення. Завдяки виконанню **енергетичної функції** живою речовиною на планеті Земля сонячна енергія акумулюється й використовується для зміни довкілля. Без біосфери енергія Сонця не спричиняла б значних геологічних змін, а також не могла б запасатися й використовуватися тривалий час після свого поглинання.

Завдяки ферментам жива речовина здійснює хімічні процеси набагато швидше, ніж вони відбуваються в неживій природі. Організми відповідальні за реалізацію **окисно-відновної функції** — значна кількість процесів окиснення й відновлення відбуваються винятково в організмах. Це забезпечує перехід хімічних елементів із одних сполук в інші, що є основою біогеохімічних колообігів

елементів (рис. 20.2, А). Так, азотфіксувальні бактерії перетворюють азот на амоніак, сіркобактерії — окиснюють сполуки Сульфуру, а рослини — відновлюють сполуки Карбону.

Організми намагаються обжити кожен доступний ділянку Землі, адаптувавшись і змінивши умови середовища. У цьому полягає **функція утворення середовища**, що її здійснює жива речовина. Завдяки ній мінеральні породи руйнуються і включаються до колообігу елементів. Також жива речовина постійно перетворюється: організми вмирають і народжуються знову, рештки розкладаються. Усе це забезпечує рух хімічних елементів і впливає на умови існування.

Постійний склад атмосфери підтримується діяльністю живої речовини. Організми поглинають і виділяють гази, і регулюючи таким чином їх уміст у повітрі. При цьому вони виконують **газову функцію** (рис. 20.2, Б). Поява киснеутворювальних організмів-фотосинтетиків змінила вигляд Землі й уможливила виникнення озонового шару, завдяки якому життя змогло вийти на суходіл.

Концентраційна функція полягає в накопиченні хімічних елементів у значно більших обсягах, ніж вони є в неживій природі. Наприклад, органічні речовини містять багато Карбону, Гідрогену, Оксигену й Нітрогену, на сполуки Кальцію та Фосфору багаті скелети тварин, а бурі водорості запасують Йод. Саме тому склад живої природи суттєво відрізняється від складу неживої.

Для кожного біому характерний свій тип рослинності

Різні регіони континентів відрізняються кількістю сонячного світла й опадів. Унаслідок зміни температури зі зміною географічної широти й висоти суші над рівнем моря, а також кількості опадів у окремих місцях сформувалися кілька природно-кліматичних зон суходолу, сукупність екосистем яких утворює **біоми** (рис. 20.3). До складу кожного біому входять рослинні й тваринні угруповання певного регіону із певним кліматом.

Основою для виокремлення того чи того біому є домінуючий тип рослинності. Наприклад, у степу переважає трав'яниста рослинність, а в пустелях — сукулентні рослини. А вже залежно від типу рослинності й абіотичних умов різні види тварин «обживають» певний біом. За різними класифікаціями кількість біомів відрізняється. Ми ж розглянемо лише основні з них.

Найпівнічнішими біомами є **тундри**. Також вони зустрічаються на високогір'ї. Для тундри характерні тривалі низькі температури й короткий



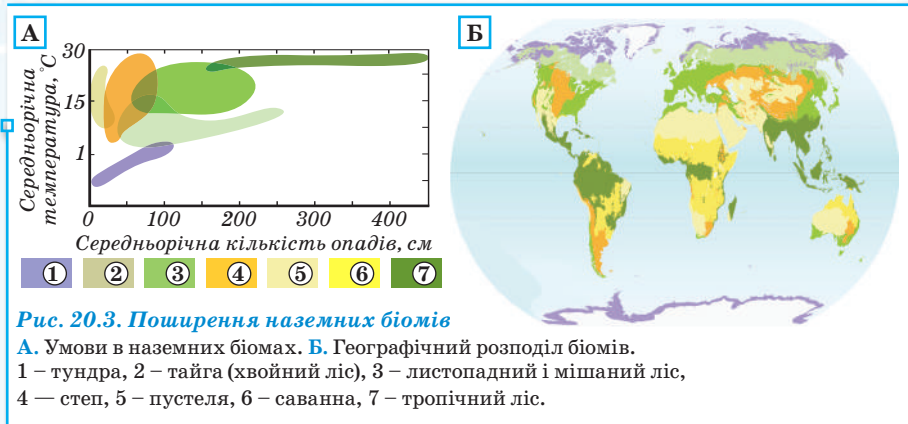
А



Б

Рис. 20.2. Реалізація біосферних функцій

А. Залізобактерії окиснюють сполуки Fe^{2+} у сполуки Fe^{3+} , які й зумовлюють іржавий колір води. **Б.** Водні фотосинтезувальні організми є основними продуцентами кисню в біосфері.



період тепла. Основою цього біому є лишайники, злаки й карликові дерева (рис. 16.3, А). Південніше, ніж тундра, розташована **тайга**, основою якої є хвойні дерева (рис. 15.4). Хвойні ліси тайги небагаті на кущі й трав'янисту рослинність через значну затіненість, що виникає під деревами. Хоча для тайги також характерні тривалі періоди морозів, продуктивність екосистем цього біому набагато більша за таку в тундрових.

У помірних широтах переважають два типи біомів: **листопадні й мішані ліси** (рис. 16.1, А) та **степи** (рис. 16.5, Б). Тут мають яскравий прояв сезонні зміни. Ці біоми зазнали найбільшого впливу людини, оскільки саме в них розташовані осередки розвитку цивілізації. Характерною особливістю степів є наявність великих трав'янистих тварин: коней, бівонів, кенгуру.

У тропіках і на екваторі великі площі займають **савани** (рис. 20.4, А). Протягом року в них спостерігається велика кількість опадів у дощові сезони й тривалі посухи між ними. Тому саме волога є визначальним фактором сезонності, на відміну від температури в степах помірного клімату. Окремі дерева саван (це здебільшого акації) адаптовані до витримування тривалої спеки. Як і в степах, тут живе велике різноманіття копитних трав'янистих — антилоп, зебр, жирафів.

Вологі тропічні ліси поширені вздовж екватора в Африці, Південній Америці та Південній Азії. У цих біомах існує найбільше видове різноманіття організмів і яскраво виражена ярусність (рис. 16.3, Б). У тропічних лісах є надзвичайно ефективний колообіг речовин, завдяки якому в лісі постійно існує значна кількість організмів.

Пустелі вирізняються малою кількістю опадів (менше 250 мм на рік). Доміnantними видами цих біомів є сукулентні рослини (кактуси, верблюжі колючки, молочаї), що здатні витримувати спеку, однорічні швидкорослі рослини та посухостійкі кущі (рис. 20.4, Б). Їхнє життя цілком залежить від води: якщо тривалий час немає опадів, то екосистеми біднішають на види або взагалі зникають.



Рис. 20.4. Приклади наземних біомів
А. Африканська савана. **Б.** Пустеля Гобі.

Концепція ноосфери спрямовує людство на відповідальне ставлення до природи

Кінцевою вищою стадією розвитку біосфери Володимир Вернадський уважав формування **ноосфери**¹ — стану біосфери, за якого людська діяльність буде визначальним фактором її розвитку. Концепція ноосфери доволі складна для розуміння, але можна сформулювати кілька основних положень, що характеризують уявлення вченого.

- Розселення людини по всій планеті та повне панування над рештою видів.
- Глобалізація, зміцнення зв'язків між державами, формування глобальних інформаційних систем.
- Використання нових джерел енергії, що дає змогу людям стати найважливішою геологічною силою на планеті.
- Розвиток демократії, зростання добробуту людей, припинення війн.
- Розвиток науки, створення умов для вільного розвитку наукової думки, зростання ролі науки в житті людей.
- Розширення біосфери шляхом космічної експансії людства та підкорення інших планет.

Реалізація рис, наведених Володимиром Вернадським, повинна дозволити людині гармонійно співіснувати з природою. На жаль, наявність фінансової нерівності між верствами населення (мало багатих і багато бідних) і низький рівень добробуту спричиняють споживацьке ставлення до довкілля: люди шукають спосіб вижити, їх мало турбують глобальні екологічні проблеми. «Роздуті» штучні потреби людей (кращі навушники щомісяця, модні кросівки щосезону, потужніший гаджет щороку) і неусвідомлення цього «висмоктують» ресурси з природи, перетворюючи останні на викиди й сміття. Крім того, наукове невігластво, недалекоглядність через нерозуміння наслідків своїх дій спричиняють катастрофічні впливи на природу. Людство так і не змогло побороти війни, які є одним із найгірших екологічних лих, під час яких планетарні ресурси використовуються й винищуються заради економічних і політичних амбіцій окремих осіб. Нам повсякчас важливо пам'ятати про основні ознаки ноосфери і, якщо люди хочуть ще довго жити на цій планеті, уживати невідкладних заходів задля їх досягнення.

¹ Від грец. *nous* — розум і *sphaera* — куля.

Життя під ковпаком: чи можливе виживання в штучній біосфері?



З розвитком космонавтики постало питання: чи може людина вижити в замкненій штучній екосистемі. Для дослідження цього питання у 1999 році в Аризоні було завершено будівництво матеріально замкненої моделі земної біосфери — проекту «Біосфера-2». На площі у 1,27 га, ізольованій від довкілля скляними панелями, розмістили сім біомів, що були спрощеними моделями тропічного лісу, океану, савани, мангрових боліт, пустелі, агроекосистеми з рослинами й тваринами та населеного пункту. Уся штучна біосфера містила 3 тис. видів тварин і рослин та повинна була функціонувати за рахунок енергії сонячного світла й забезпечувати виживання учених-біонавтів. Додатково доводилось підігрівати й охолоджувати воду та повітря, а також підтримувати сталу вологість атмосфери. Утім обмін речовинами між штучною біосферою і довкіллям було обмежено.

Перший експеримент у «Біосфері-2» тривав два роки й у ньому взяли участь вісім людей. На жаль, він виявився невдалим. Через інтенсивний розвиток мікроорганізмів концентрація кисню в атмосфері впала з 21 % до 14 %, і час від часу до екосистеми закачували його додаткові порції. Продуктивність агроценозу була недостатньою, і люди голодували — у середньому всі схудли на 16 %, але при цьому деякі показники здоров'я біонавтів та біонавток покращились. Комахи-запилювачі й усі хребетні в природних біомах загинули, зате поширилися таргани й мурахи, яких не заселяли на початку. Деревя через відсутність вітру почали втрачати міцність і падати. Ба більше, біонавти розділилися на дві фракції, що мали неприязні взаємини між собою. Другий експеримент через саботаж зі сторони попередніх учасників і їх прихильників та відсутність фінансування припинили через півроку від початку, хоча й забезпечення людей їжею вдалося покращити.

Цікаво, що експеримент «Біосфера-2» знайшов відгомін у літературі: 2016 року американський письменник Том Корегессан Бойл описав процес дослідження в художній книзі «Терранавти» («The Terranauts»).

Елементарно про життя

- 1. Визначте найнижчу межу біосфери відносно рівня моря.

А уранова шахта глибиною 3 км
Б океанічне дно на глибині 2 км
В верхня мантія на глибині 20 км
Г підводна печера глибиною близько 1 км

- 2. Централізованість біосфери забезпечується

А реалізацією функцій живої речовини
Б значним видовим різноманіттям
В здатністю рослин акумулювати сонячну енергію
Г сталістю умов неживої природи

- 3. Проаналізуйте *рисунок 20.3, Б* і визначте, які біоми найбільш характерні для України.

А тайга та листопадний і мішаний ліс **Б** степ і пустеля
В степ та листопадний і мішаний ліс **Г** тайга й степ

- 4. Умовою існування тропічного лісу є швидкий колообіг речовин, оскільки

А для цього біому характерна низька продуктивність
Б у тропічному лісі швидко відбувається розкладання решток
В сюди надходить дуже мало світла
Г температура довкілля надзвичайно мінлива

- 5. Увідповідніть функцію живої речовини з її реалізацією.

1 окисно-відновна	А виділення вуглекислого газу в процесі дихання рослин
2 енергетична	Б перетворення сполук Fe^{2+} у сполуки Fe^{3+}
3 концентраційна	В запасання Сульфуру в складі овальбуміну яйця
4 газова	Г розкладання мертвих решток
	Д утворення АТФ у хлоропластах на світлі

У житті все просто

- 6. Порівняйте у вигляді таблиці температуру, вологість і різноманіття рослинного й тваринного світу різних біомів. Як біорізноманіття залежить від температури й вологості?

- 7. Поясніть, чому організми займають усі придатні для життя місця на Землі.

- 8. Доведіть, що деякі риси ноосфери характерні для сучасної біосфери.

У житті не все просто

- 9. Останнім часом для вивчення біосфери почали використовувати космічні апарати. Із якою метою і як їх застосовують? Що вдалося з'ясувати з їхньою допомогою?

- 10. Значна кількість наукової спільноти вважає концепцію ноосфери ненауковою й філософською. Чому вони так думають? Чи є екологам що відповісти на подібні закиди?

§ 21. Біогеохімічні цикли

Біогеохімічні цикли забезпечують тривале існування біосфери Землі

Як вам відомо з попереднього параграфа, однією з властивостей біосфери є наявність у ній колообігів хімічних елементів. Ці колообіги отримали наукову назву **біогеохімічні цикли**¹. У них беруть участь як організми, так і неживі оболонки Землі — атмосфера, гідросфера та літосфера. Біотична частина циклів є рухомою — вона забезпечує швидкий перехід атомів з одних сполук до інших, а от абіотична — малорухомою, оскільки в ній елементи накопичуються й рідко переходять зі складу одних сполук до складу інших. А втім, саме в неживій частині циклів знаходиться найбільша кількість атомів хімічного елемента. Основним джерелом енергії для руху атомів біогеохімічним циклом є Сонце, енергію якого використовують організми для забезпечення власної життєдіяльності. Оскільки все живе на 98 % складається з чотирьох хімічних елементів — Карбону, Оксигену, Нітрогену й Гідрогену, то в цьому параграфі йтиметься саме про їхні колообіги.

Наявність біогеохімічних циклів дозволяє біосфері існувати протягом тривалого часу, оскільки забезпечує повернення необхідних елементів у неживе середовище, звідки вони можуть бути знову поглинені наступними поколіннями організмів. Завдяки цьому підтримується сталість хімічних умов середовища мешкання. За відсутності колообігів життя на Землі припинилося б після вичерпання ресурсів довілля, бо нові порції речовин майже не надходять на нашу планету з космосу. На це варто зважати й людству: ми живемо на «острові» посеред Всесвіту, і коли все корисне, що є на Землі, буде використано, то нам не залишиться ніякого матеріалу для виробництва. Тому цивілізація повинна максимально економити ресурси, забезпечувати їхнє багаторазове повторне використання й переробку задля відновлення планетарних запасів.

У колообігу Карбону беруть участь усі організми на планеті

Карбон є основою органічних сполук і входить до складу всіх без винятку організмів. У природі атоми Карбону наявні в складі різноманітних сполук: викопних вуглеводнів (нафта, природний газ), простих неорганічних сполук (вуглекислий газ, карбонати) і, звісно, органічних сполук. В атмосфері Карбон наявний переважно в складі вуглекислого газу й метану, у літосфері — у вигляді вугілля, нафти, карбонатів, графіту та інших сполук.

Колообіг Карбону (рис. 21.1) в екосистемах пов'язаний із двома основними процесами — фіксацією вуглекислого газу в процесі **фотосинтезу** (чи зрідка **хемосинтезу**) та його поверненням до атмосфери під час **дихання**. Автотрофні організми (продуценти) здатні відновлювати неорганічний вуглекислий газ і включати Карбон до складу вуглеводів та інших органічних речовин. Далі у складі цих сполук Карбон передається трофічним ланцюгом до консументів і, зрештою, потрапляє до відмерлих решток. Під час дихання рослин і тва-

¹ Від грец. *bios* — живе та *geo* — Земля.

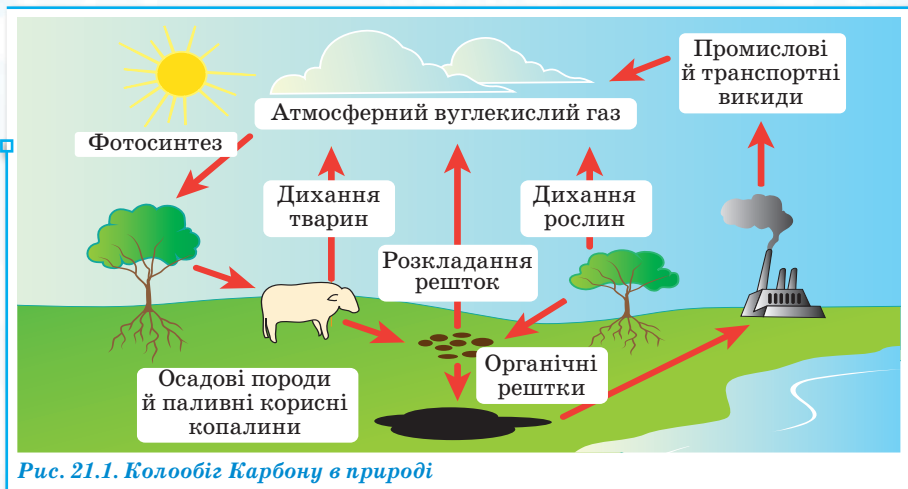


Рис. 21.1. Колообіг Карбону в природі

рин, а також розкладання мертвих решток редуцентами Карбон органічних речовин окиснюється й повертається до складу вуглекислого газу. Останній виділяється в атмосферу, завдяки чому підтримується постійний його вміст у повітрі на рівні 0,04 %.

У більшості стабільних екосистем процеси фіксації та вивільнення вуглекислого газу збалансовані. Виняток становлять ті екосистеми, у яких біомаса в певний спосіб вилучається з колообігу. Насамперед, це відбувається в морських екосистемах, у яких мертві рештки опускаються на дно, де гниття сповільнене через низькі температури та малий уміст кисню. Серед наземних екосистем подібне є характерним, наприклад, для боліт. У результаті частина Карбону постійно вилучається з циклу й захоронюється у вигляді паливних копалин (торфу, вугілля, природного газу, нафти) чи осадових порід, утворених, здебільшого, карбонатами (CO_3^{2-}).

А от ліси, попри те що поглинають десятки гігатонн вуглекислого газу на рік, приблизно стільки ж виділяють назад до атмосфери. Це в жодному разі не означає, що ліси некорисні для планети та їх вирубування ні до чого поганого не призводить. Річ у тім, що до складу дерев входить величезна кількість Карбону, який унаслідок використання деревини швидко повертається назад до колообігу у вигляді вуглекислого газу (докладніше про вплив діяльності людини на атмосферу йтиметься в § 24). Активне використання енергії паливних копалин шляхом їх спалювання на підприємствах чи в транспортній галузі задля отримання енергії також спричиняє збільшення вмісту CO_2 в атмосфері. Вуглекислий газ слугує, так би мовити, атмосферним теплоізолятором для планети, оскільки розсіює й не пропускає теплове (інфрачервоне) випромінювання від її поверхні назад до космосу. Тому збільшення кількості CO_2 в атмосфері спричиняє зростання середньої температури, зміни клімату та численні стихійні лиха.

Русіййна сила колообігу Оксигену — процеси дихання й фотосинтезу

Оксиген поряд із Карбоном входить до складу більшості органічних сполук організмів. Утім його вагома частка міститься в літосфері у вигляді кремнезему (SiO_2), оксидів металів та оксигеновмісних солей. Рослини засвоюють Оксиген літосфери, поглинувши нітрати, сульфати й фосфати з ґрунту.

Іншим резервуаром Оксигену є атмосфера, де він міститься, здебільшого, у вигляді молекул кисню й вуглекислого газу. Рослини поглинають вуглекислий газ у процесі фотосинтезу. Також під час нього вони поглинають атоми Оксигену молекул води. Унаслідок фотосинтезу Оксиген накопичується в органічних речовинах організмів, а також вивільняється до атмосфери у вигляді кисню.

Оксиген органічних речовин передається харчовими ланцюгами й потрапляє до відмерлих решток або використовується для отримання енергії під час дихання. Й аеробне дихання, і гниття органіки відмерлих решток потребують кисню з атмосфери. Під час цих процесів атоми Оксигену кисню переходять до води й вуглекислого газу, які потрапляють у довіклля. Отже, завдяки процесам фотосинтезу й дихання виникає внутрішній колообіг Оксигену (як і Карбону) між біосферою й атмосферою (рис. 21.2).

Частина атомів Оксигену, що містяться в організмах, переходять до літосфери у вигляді осадових порід (наприклад, вапняку): здебільшого, це черепашки молюсків і морських одноклітинних організмів. І, зрештою, існує безпосередній зв'язок між атмосферою й літосферою, бо процеси окиснення деяких речовин відбуваються на поверхні ґрунту. Отже, за аналогією до колообігу Карбону атмосфера, гідросфера та літосфера пов'язані в біогеохімічному циклі Оксигену завдяки діяльності організмів.

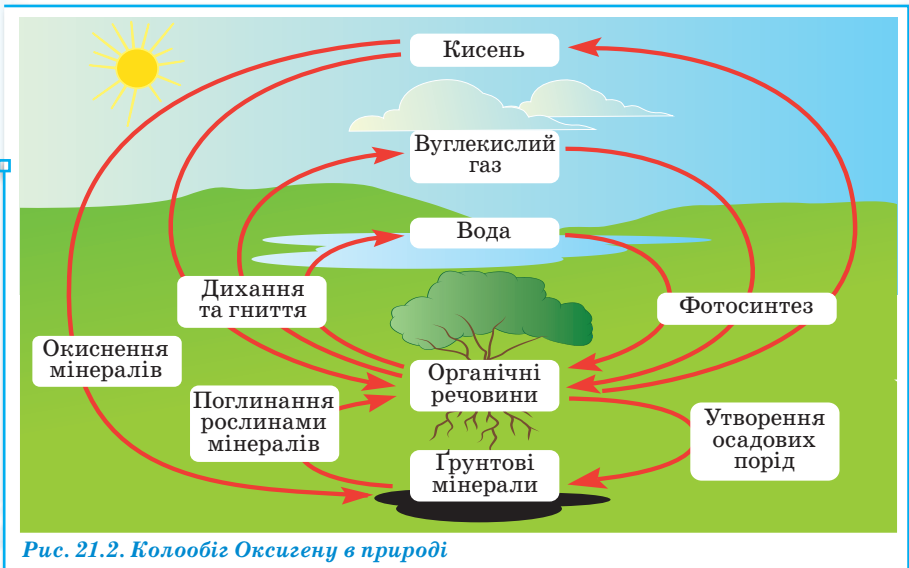


Рис. 21.2. Колообіг Оксигену в природі

Не варто забувати, що так було не завжди. Оксиген у формі кисню з'явився в атмосфері близько 2,5 млрд років тому завдяки діяльності фотосинтетичних бактерій. Це докорінно змінило всю біосферу, спричинивши **кисневу катастрофу**, у якій загинула більшість анаеробних організмів. І з того часу хімічні сполуки, що контактують із повітрям, окиснюються (наприклад, залізо іржавіє), бо через наявність у нашій атмосфері кисню вона має окисний характер. Але кисень в атмосфері сприяв і активізації життя: навчившись ним дихати, живі істоти почали видобувати набагато більше енергії з поживних речовин, ніж окиснюючи їжу без нього. Як і вогонь перед предками людей, «спалювання» поживних речовин у кисні відкрило перед живим світом нові можливості й сприяло появі багатоклітинних організмів та освоєнню життям суходолу.

Колообіг Нітрогену неможливий без бактерій

Нітроген — один із найважливіших хімічних елементів, що входять до складу організмів. Він є необхідним компонентом як носіїв спадковості — нуклеїнових кислот, так і білкових каталізаторів — ферментів, а також багатьох інших сполук, наприклад хлорофілу чи гему в гемоглобіні. Повітря, яким ми дихаємо, на 78 % складається з азоту. Але він не може бути використаний організмами тому, що хімічний зв'язок у молекулі N_2 дуже міцний, і щоб розірвати його, необхідна велика кількість енергії.

У промисловості для того, щоб розірвати зв'язки в цій молекулі, наприклад, для виробництва амоніаку, потрібні висока температура, тиск і каталізатор. У природі з цим завданням можуть упоратися лише деякі ґрунтові мікроорганізми — **азотфіксувальні бактерії**. Вони переводять атмосферний азот (N_2) у доступну для засвоєння рослинами форму амоніаку (NH_3). Багато азотфіксувальних бактерій існують у симбіозі з рослинами. Деякі, наприклад, формують бульбочки на корінні представників родини Бобові (гороху, квасолі та інших рослин), але є й азотфіксатори, що вільно живуть у ґрунті (рис. 21.3).

Загалом більшість ключових етапів колообігу Нітрогену (рис. 21.4) у природі пов'язані з діяльністю бактерій. **Нітрифікувальні бактерії** трансформують амоніак, що утворюється азотфіксувальними бактеріями, на нітрити (NO_2^-) та нітрати (NO_3^-), які рослини можуть використовувати для синтезу нітрогеновмісних органічних сполук. Тварини отримують сполуки Нітрогену, поїдаючи рослини чи інших тварин. Таким чином Нітроген транспортується екосистемою в складі органічних речовин завдяки трофічним ланцюгам.

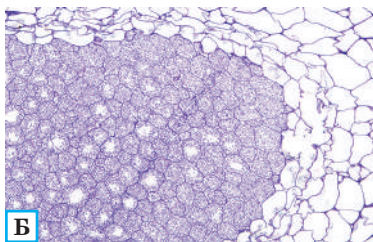
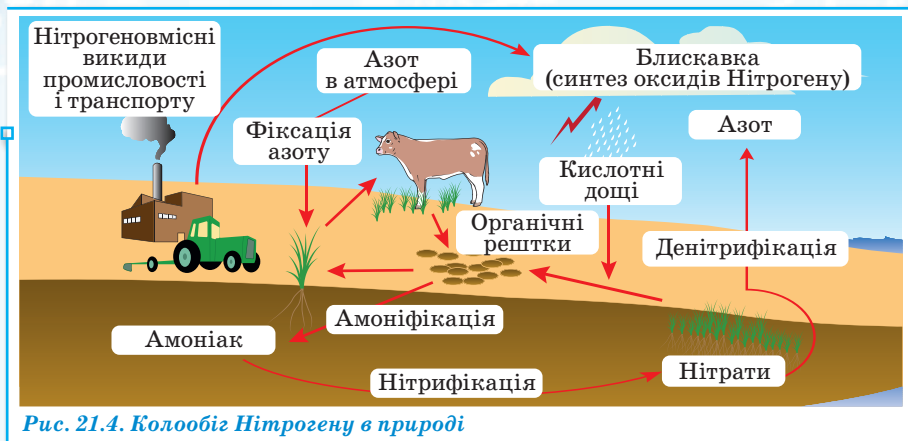


Рис. 21.3. Бульбочки азотфіксувальних бактерій на корінні сої

А. Зовнішній вигляд.

Б. Поперечний переріз кореневої бульбочки. Видно рослинні клітини, наповнені бактеріями-симбіонтами (фіолетові крапки).



Зрештою, Нітроген із органічних сполук мертвих організмів чи відходів життєдіяльності повертається у довілля. Складні органічні сполуки решток у процесі **амоніфікації** розпадаються з утворенням амоніаку. З другого боку, частина нітратів і нітритів піддається **денітрифікації** з утворенням молекулярного азоту й газоподібних оксидів Нітрогену (N_2O , NO), які повертаються до атмосфери. Обидва процеси здійснюють ґрунтові бактерії.

Кількість Нітрогену, що зв'язується ґрунтовими мікроорганізмами, уже давно не забезпечує потреб аграрної промисловості. На сьогодні внесення до ґрунту нітрогеновмісних добрив є необхідною умовою існування сільського господарства, а їхнє виробництво поглинає понад 80 млн тонн атмосферного азоту на рік. Для порівняння: ґрунтові бактерії зв'язують на рік близько 100 млн тонн азоту. Однак надмірне застосування добрив спричинило появу нових проблем, пов'язаних із забрудненням довілля. Одна з них виникає при змиванні азотних добрив в озера та інші водойми. Унаслідок цього виникає евтрофікація, про яку йшлося в § 19.

Іншим шляхом потрапляння Нітрогену до ґрунту є випадання його із **кислотними опадами**. Оксиди Нітрогену, що утворюються як викиди промисловості й транспорту¹, потрапляють до атмосфери, де, взаємодіючи з водою, утворюють нітритну (HNO_2) і нітратну кислоти (HNO_3) (рис. 21.5). Разом із дощем вони потрапляють у землю, спричиняючи закислення ґрунту й води, що негативно відбивається на чисельності рослин в екосистемах (докладніше про кислотні опади читайте в § 24).



Рис. 21.5. Нітроген(IV) оксид надає рудого кольору промисловим викидам

¹ Частина оксидів Нітрогену утворюється також при взаємодії кисню й азоту в атмосфері під час блискавки.

Елементарно про життя

- 1. Відсутність біогеохімічних циклів на Землі спричинила б
- А** потрапляння всіх оксигеновмісних сполук до космосу
 - Б** довічне накопичення Карбону в кількох основних сполуках
 - В** зникнення літосфери
 - Г** поживлення переходу Нітрогену зі сполуки до сполуки
- 2. Які два процеси мають взаємопротилежний вплив на концентрацію вуглекислого газу в атмосфері?
- А** дихання й розкладання мертвих решток
 - Б** використання людиною паливних копалин і дихання
 - В** розкладання мертвих решток і фотосинтез
 - Г** фотосинтез і хемосинтез
- 3. Під час якого процесу ґрунт збагачується оксигеновмісними сполуками?
- А** дихання
 - Б** поглинання рослинами оксигеновмісних солей
 - В** розкладання мертвих решток
 - Г** утворення осадових порід
- 4. Завдяки яким організмам кількість амоніаку в ґрунті зменшується?
- А** амоніфікувальним бактеріям
 - Б** азотфіксувальним бактеріям
 - В** нітрифікувальним бактеріям
 - Г** денітрифікувальним бактеріям
- 5. У відповідність тип бактерій і перетворення, які вони здійснюють.
- | | |
|------------------|---|
| 1 нітрифікація | А $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_3^-$ |
| 2 денітрифікація | Б $\text{N}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ |
| 3 азотфіксація | В органічні речовини $\rightarrow \text{NH}_3$ |
| 4 амоніфікація | Г $\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3$ |
| | Д $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ |

У житті все просто

- 6. Проаналізуйте біогеохімічний цикл Карбону в природі. Схарактеризуйте можливі дії з боку людства, що сприятимуть зменшенню кількості вуглекислого газу в атмосфері.
- 7. Як зміниться колообіг Оксигену у разі припинення кисневого фотосинтезу?
- 8. Загальна швидкість якого процесу в природі більша — нітрифікації чи денітрифікації? Обґрунтуйте причину різниці у швидкостях.

У житті не все просто

- 9. Дуже часто цикли Карбону й Оксигену об'єднують у єдиний цикл. Створіть такий цикл і продемонструйте його на уроці. Чому таке об'єднання є можливим?
- 10. Проблемою азотфіксації є наявність кисню в середовищі, що може пригнічувати перетворення азоту на амоніак. Як азотфіксувальні бактерії вирішують проблему кисню?



СТАЛИЙ РОЗВИТОК ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ



Питання відносин людства й природи набули актуальності всього півстоліття тому

Цим параграфом ми починаємо новий розділ, що буде присвячений взаємодії людини й навколишнього середовища. Усі аспекти цього питання вивчає прикладна екологія, або наука про довкілля. Вона надзвичайно молода: її зародження відбулося у 1960-х роках у США. Поштовхом до об'єднання екологів-енвайронменталістів¹ стала книга американської біологині Рейчел Карсон «Мовчазна весна» (рис. 22.1), у якій авторка в стилі, доступному для широкого загалу, описувала наслідки впливу пестицидів на довкілля й здоров'я людини. Основна ідея книги про значний негативний вплив людини на навколишнє середовище стала єднальною для багатьох екоактивістів та екоактивісток. Також суспільний ажіотаж підштовхнув екологічні дослідження до всебічного вивчення впливу людської діяльності на природу, а згодом і дослідження гармонійної взаємодії суспільства й живого світу.

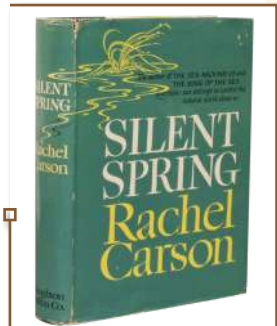


Рис. 22.1. Перше видання «Мовчазної весни» та його авторка

Погіршення екологічної ситуації є наслідком зростання чисельності людей та їх добробуту

У 2010 році науковці університету Макгілла (Канада) сформулювали **парадокс довкілля**: протягом останніх сорока років добробут людей постійно зростає, а стан екосистем погіршується, хоча благополуччя людства пов'язане зі станом навколишнього середовища. На їхню думку, пояснення парадоксу полягає в тому, що, по-перше, завдяки використанню досконаліших технологій, людство легше виробляє потрібні йому товари із природних ресурсів. Другим чинником є те, що між змінами екосистем і їхнім впливом на цивілізацію повинен пройти певний час, тож найгірше для нас іще попереду. Але численні екологічні проблеми, зумовлені діяльністю людини, уже відбиваються на нашому побуті.

Сутність більшості проблем довкілля полягає в нестримному зростанні чисельності населення планети — **демографічному вибухові** (рис. 22.2). Протягом останніх 200 років кількість людей на Землі збільшилась у понад 7 разів, а лише за останні 50 років — удвічі.

Нині щороку чисельність населення в світі збільшується на понад 80 млн, що складає близько 1 % від усіх людей планети. Згідно з прогнозами, якщо темпи росту не зміняться, до 2050 року загальна кількість людей, що прожи-

¹ Від англ. *environment* — довкілля.

ватиме на Землі, сягне майже 10 млрд осіб. Найбільший вклад у ріст чисельності роблять країни Південної та Південно-Східної Азії, Африки й Латинської Америки, де щорічне зростання кількості людей перевищує 2%. Тоді як у розвинутих країнах ріст є незначним, або чисельність навпаки зменшується.

Оскільки джерелом усіх продуктів, товарів та енергії є природа, то й вплив на неї зростає прямопропорційно чисельності. Про наслідки таких відносин ітиметься в наступних параграфах. А до цього варто окреслити загальні екологічні проблеми, що вже існують.



Рис. 22.2. Зростання чисельності людства протягом останніх 2000 років

Забруднення є найбільшою екологічною проблемою сучасності

Оскільки обсяги продукції для людства гігантські, то й відходів виробництва утворюється щороку мільярди тонн. Наприклад, у процесі добування корисних копалин з'являються величезні обсяги порожньої породи, що вже не містить потрібного ресурсу (рис. 22.3, А). Колосальні об'єми газів викидаються в атмосферу промисловими виробництвами, а разом із ними туди потрапляють різноманітні шкідливі речовини й дрібні часточки пилу. Також, коли якийсь товар стає непотрібним чи ламається, він часто просто опиняється на смітнику, де перетворюється на відходи (рис. 22.3, Б). Незбалансоване використання мінеральних добрив і пестицидів у сільському господарстві



Рис. 22.3. Приклади забруднення довкілля

А. Терикони біля вугільної шахти.

Б. Поліетиленові пакети на сміттєзвалищі.

В. Заболочування ставка внаслідок теплового забруднення гарячою водою з атомної електростанції.

спричиняє забруднення ґрунту й води, що негативно впливає на стан екосистем і здоров'я людини. Так, згідно з дослідженнями щороку 1,6 млн людей помирають і більше мільярду хворіють через низьку якість води, яку вони використовують.

Крім описаних механічних і хімічних забруднювачів, є й фізичні. Штучне світло, шум, тепло й радіація негативно впливають на природні екосистеми. Так, міське освітлення порушує фотоперіодизм у рослин, підвищення температури води спричиняє зменшення вмісту кисню в ній, «цвітіння» й заболочування (рис. 22.3, В), а радіація є потужним мутагенним фактором.

Одними з найбільших забруднювачів є міста, кількість населення в яких невинно зростає в процесі **урбанізації** — посилення ролі міст у суспільстві та переселення людей із сільської місцевості. Наразі половина населення Землі проживає в містах. Через значне скупчення людей на невеликій площі (сумарна площа міст у світі складає близько 1 % від загальної площі суходолу) там утворюються величезні кількості твердих, рідких і газоподібних відходів.

Кліматичні зміни спричинені глобальним потеплінням

Одним із газів, який у великих кількостях викидається промисловістю й транспортом, є вуглекислий, що утворюється під час згоряння різних видів палива. Тому протягом останніх 200 років його концентрація в атмосфері зросла на 35 %. Як вам уже відомо, він не дає тепловим променям залишити Землю, чим спричиняє **парниковий ефект** (рис. 22.4). Унаслідок цього протягом останнього століття температура на Землі невинно зростає та вже підвищилася на 0,74 °С від показника початку ХХ ст. Нагрівання планети спричиняє танення льодовиків і підвищення рівня моря приблизно на 3,3 мм щороку, почастищення злив, спеки, піщових бур і ураганів, опустелювання й зміни клімату окремих регіонів. Уже зараз в Україні зими мають меншу тривалість морозного періоду, ніж раніше, а літні спеки б'ють усі рекорди. Згідно з різними моделями в наступні 100 років температура зростає ще на 2–6 °С.

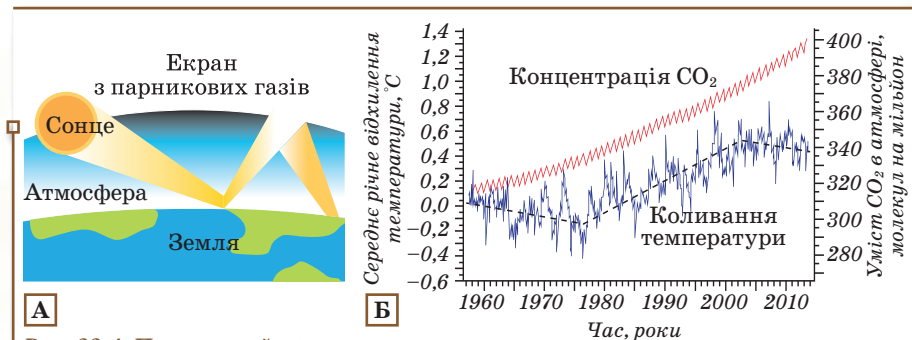


Рис. 22.4. Парниковий ефект

- А. Причина парникового ефекту — відбиття теплових променів парниковими газами.
Б. Зростання концентрації вуглекислого газу й температури за останні 60 років.

Темпи зменшення біорізноманіття зростають із часом

Забруднення довкілля й кліматичні зміни спричиняють швидке зменшення біорізноманіття (рис. 22.5). Оскільки життя біоценозів екосистем залежить від стану абіотичного середовища, то вплив на біотоп різних забруднювачів, а також зміна температури й вологості призводять до змін умов існування організмів. Окрім цього, велика роль у скороченні чисельності популяцій і вимиранні належить безпосередньому впливові людини. Зі зростанням кількості населення на планеті, збільшувалася й потреба в їжі. Тому,

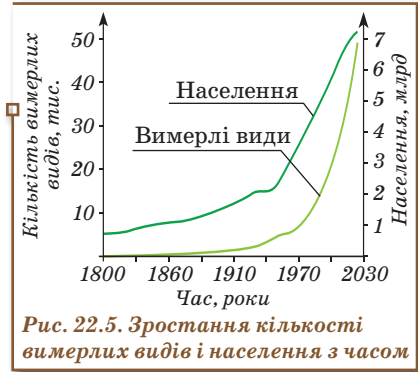


Рис. 22.5. Зростання кількості вимерлих видів і населення з часом

щоб себе прогодувати, люди безупинно полювали, виловлювали рибу, аж поки не «з'їли» цілі біологічні види. Задля створення полів вирубувалися величезні площі лісів — найбагатших на види екосистем. Із тією ж метою розорювалися степи, змінювався їхній гідрологічний режим за рахунок створення зрошувальних каналів, степи перетворювали на пасовища. Унаслідок цього степові екосистеми просто зникали. Так сталося, наприклад, в Україні: єдиним клаптиком цілинного степу, який ніколи не використовували в господарській діяльності, є 11 тис. га абсолютно заповідної зони біосферного заповідника «Асканія-Нова».

Отже, зміна середовища мешкання, скорочення площ природних екосистем, безпосереднє винищення організмів є основними причинами значного вимирання багатьох видів організмів. Близько 900 видів тварин зникло з лиця Землі за останнє півтисячоліття, чисельність промислових видів риби скоротилася на 85 %, а популяції основних видів рослин і тварин — удвічі. І темпи вимирання організмів не зменшуються з часом.



Наслідки споживацького ставлення до природи не минули й Україну

Україна є високоурбанізованою країною, оскільки майже 70 % її населення мешкає в містах. Як уже зазначалося вище, вони є джерелом інтенсивного забруднення навколишнього середовища. Викиди промислових виробництв, більшість із яких розташовано на сході й південному сході України, є джерелом потужного забруднення атмосфери й гідросфери. Також значна частина українських земель та акваторій морів забруднена відходами промисловості, пестицидами, надмірними кількостями мінеральних добрив. Через надзвичайно інтенсивне використання ґрунтів і порушення технології обробки зменшується вміст гумусу в них і, як наслідок, — родючість. Близько 7 % території України на сьогодні зайнято звалищами, що негативно впливають на навколишні екосистеми й людей, які проживають поруч.

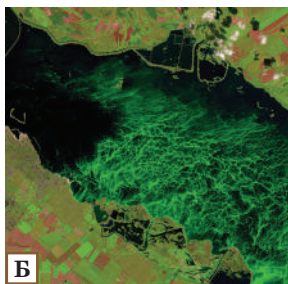
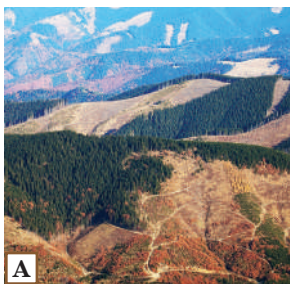


Рис. 22.6. Екологічні проблеми України

А. Безлісі ділянки схилів Карпат. Б. «Цвітіння води» в Кременчуцькому водосховищі на Дніпрі (вид із космосу). В. Коні Пржевальського в зоні відчуження біля ЧАЕС.

Вирубування лісів на схилах Карпатських гір (рис. 22.6, А) спричинило нетримання води в ґрунті, тому місцеві села часто страждають від повеней і зсувів ґрунту. Осушування боліт на Поліссі з метою використання їхньої території для сільського господарства спричинило зниження рівня ґрунтових вод. Як наслідок, зменшилася кількість вологи, доступної для рослин. Це сприяє скороченню площ лісів і пришвидшує ерозію ґрунтів.

Побудова гребель і водосховищ на Дніпрі суттєво вплинула на прилеглі екосистеми. Через наявність нездоланих перешкод уздовж течії популяції риб стали відокремленими, й деякі з них зникли у зв'язку із занадто малою чисельністю. Окрім того, швидкість течії в річці знизилась й почастишали «цвітіння води» (евтрофікації), які є наслідком інтенсивного розмноження ціанобактерій (рис. 22.6, Б). Причиною цього також є змивання значних кількостей добрив із полів і надходження фосфоровмісних мийних засобів промислового й побутового походження. Уміст Фосфору є лімітувальним фактором для росту ціанобактерій, тож коли його стає багато, то мікроорганізми починають швидко розмножуватися. «Цвітіння» спричиняє нестачу світла у воді, через що значна частина підводних рослин гине. Їхнє інтенсивне гниття споживає багато кисню, розчинного у воді, а його брак завдає удару по рибах, які задихаються.

Чисельність диких тварин у лісах, степах і водоймах України продовжує щороку зменшуватися через значні антропогенні зміни довкілля. Наприклад, кількість беркутів на території України скоротилась до кількох десятків, бурих ведмедів до двох сотень, хоча ще сто років тому українські популяції цих тварин були на порядок більшими. Обидва види тварин занесено до Червоної книги України, хоча в багатьох сусідніх країнах Європи вони не потребують охорони.

Однією з найбільш забруднених територій України є простір навколо Чорнобильської АЕС: 30-тикілометрова зона відчуження повністю вилучена з людської діяльності через її значне радіаційне забруднення після аварії. Утім відсутність людини на цих територіях сприяла відновленню там природних екосистем, розмноженню великих тварин і активнішому розвитку рослинності (рис. 22.6, В).

Елементарно про життя

- 1. Книга Рейчел Карсон «Мовчазна весна» сприяла розвитку прикладної екології завдяки тому, що
 - А привернула увагу до надмірного споживання людством природних ресурсів
 - Б підвищила інтерес керівництва США до питань використання антибіотиків
 - В яскраво продемонструвала негативний вплив людей на довкілля
 - Г висунула «парадокс довкілля»
- 2. Що з наведеного НЕ є джерелом забруднення середовища?
 - А вуличні ліхтарі
 - Б каналізаційні стоки
 - В сільськогосподарські поля
 - Г зсуви гірського ґрунту
- 3. Проаналізуйте графік на *рисунку 22.5* і виберіть правильну відповідь.
 - А найвищий темп вимирання видів спостерігається останні 50 років
 - Б темп вимирання біологічних видів то збільшується, то зменшується
 - В темп вимирання видів є орієнтовно сталим із 1850 року
 - Г із 1900 до 1950 року вимерло лише 3–5 сотень видів
- 4. Увiдповiднiть екологiчні проблеми сучасностi з їхнiми наслiдками.
 - 1 забруднення довкілля
 - 2 зміна клімату
 - 3 зменшення біорізноманіття
 - А збільшення частоти буревіїв
 - Б зростання частки населення в містах
 - В зменшення ефективності фотосинтезу через запилення поверхні листків
 - Г втрата видів рослин, що могли б стати джерелом медичних препаратів

У житті все просто

- 5. Доведіть зв'язок між зменшенням видового різноманіття та іншими глобальними екологічними проблемами.
- 6. Схарактеризуйте причини сучасних екологічних проблем України.

У житті не все просто

- 7. У чому проявляється екологічний слід кожної людини? Підрахуйте свій і порівняйте з таким у однокласниць і однокласників.
- 8. Деякі дослідники й дослідниці сучасне зменшення біологічного різноманіття називають «шостим масовим вимиранням». Які докази цього твердження можна навести?

Проект для дружної компанії

- 9. Екологічний життєвий цикл товару.
 - 1) Опишіть життєвий цикл певного товару від добування ресурсів із природи до руйнування його компонентів у природі.
 - 2) Запропонуйте зміни, які можна внести у життєвий цикл задля зменшення рівня забруднення. Визначте ті, здійснення яких найдоцільніше, найлегше і найбільш екологічно вигідне.

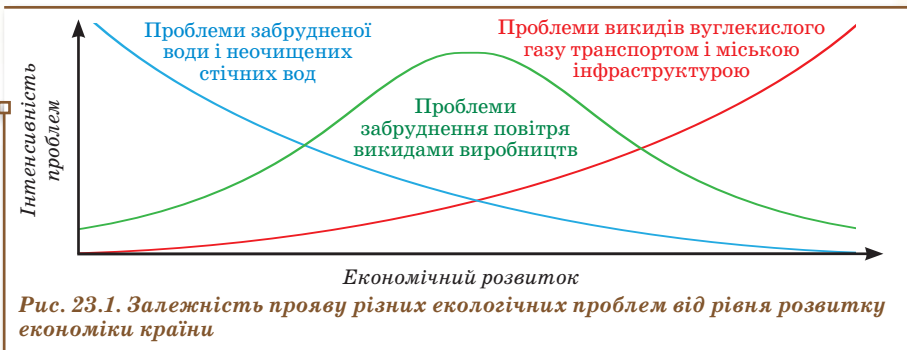
§ 23. Забруднення довкілля

Виробництво породжує більше відходів, ніж корисного продукту

Забруднювачем називають будь-який вплив на довкілля, який своїм хімічним складом чи кількістю порушує природні процеси й негативно діє на організми чи здоров'я людини. Найпоширенішими забруднювачами є хімічні речовини, що потрапляють до навколишнього середовища під час виробництва, транспортування, використання товару, а також із його рештками. І якщо, наприклад, смартфон важить близько 150–200 г, то відходів, пов'язаних із ним, утворюється близько 80–90 кг! На жаль, таке співвідношення характерне не лише для смартфонів — у розвинених країнах у середньому лише 1–1,5 % від маси добутої природної сировини потрапляє до складу кінцевого продукту, а решта перетворюється на відходи.

Екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням, залежать від рівня економічного розвитку країни (рис. 23.1). Для держав, що розвиваються (зокрема й України), характерний високий рівень промислового забруднення, яке завдяки ретельному контролю вдалося значно скоротити в розвинених країнах (більшість держав Європи, США, Японія, Південна Корея). Але високий рівень урбанізації та значна густина населення цих країн спричиняють велике надходження вуглекислого газу до атмосфери.

Ефекти від забруднення наразі припинили бути локальними — масштаби викидів такі значні, що під впливом забруднювачів одних регіонів опиняються зовсім інші. Крім того, забруднювачі можуть розповсюджуватися з місця утворення далі екосистемою. Так, наприклад, важкі метали й пестициди можуть із ґрунту потрапляти в підземні чи поверхневі води, а побутове сміття виноситися річками в моря й океани.



Для визначення наявності забруднення використовують унормовані показники

Забруднювачами можуть бути не лише речовини, але й інші впливи — шум, тепло, організми. Залежно від характеру забруднення виокремлюють кілька видів: хімічне, фізичне, механічне й біологічне (табл. 23.1).

Таблиця 23.1. Типи забруднень (пояснення скорочень наведено у тексті)

Тип забруднення	Приклади забруднювачів	Метод визначення наявності забруднення
Хімічне	Газуваті оксиди (CO ₂ , SO ₂ , NO, NO ₂), важкі метали, пестициди, надлишки мінеральних добрив, органічні розчинники, кислоти	Перевищення ГДК чи ГДЕН (якщо трапляються в природі), наявність (для синтетичних речовин)
Фізичне	Світло, шум, тепло, радіація	Перевищення ГДР чи ГДЕН
Механічне (засмічення)	Промислові відходи, тверде побутове сміття	Перевищення гранично допустимого рівня утворення й накопичення
Біологічне	Хвороботворні організми, інвазійні види	Почастішання порушень здоров'я й розвитку хвороб, порушення стабільності природних екосистем

Із метою визначення того, яка кількість речовини чи іншого фактора є забруднювачем щодо людини, використовують спеціальні нормативи. Для більшості речовин і хімічних елементів таким показником є **гранично допустима концентрація (ГДК)**. ГДК показує максимальну безпечну концентрацію шкідливої речовини в довкіллі, тривалий вплив якої на здоров'я людини не має негативних наслідків. В Україні більшість значень ГДК встановлена законодавчо у вигляді санітарно-гігієнічних норм, державних стандартів тощо. Для фізичних забруднювачів такий норматив має назву **гранично допустимий рівень (ГДР)**, що характеризує, наприклад, максимальну безпечну інтенсивність електромагнітного випромінювання чи рівень шуму. Критерієм визначення забруднювача щодо стану довкілля є **граничне допустиме екологічне навантаження (ГДЕН)**, яке визначає максимальний рівень забруднення, що не погіршує стан екосистеми й не перешкоджає її відновленню. Якщо навантаження є більшим за ГДЕН, то середовище поступово забруднюється. Порівнявши вміст, інтенсивність, кількість чи інший параметр із гранично допустимим, можна визначити, чи є цей вплив таким, що спричиняє зміни в довкіллі чи здоров'ї людини, тобто чи є він забруднювачем.

Найпоширенішим типом забруднення є хімічне

Хімічне забруднення полягає в надходженні до довкілля невластивих йому речовин (ксенобіотиків¹) чи надлишкових кількостей природних речовин. Це найпоширеніший тип забруднення, тому, коли про нього говорять, зазвичай мають на увазі саме хімічне. Значна частина хімічних забруднювачів потрапляє до довкілля у вигляді газів. Основним серед них є вуглекислий газ, що спричиняє глобальне потепління й зміну клімату. Під час згоряння палива до атмосфери також потрапляють чадний газ (CO), сірчистий газ (SO₂), оксиди Нітрогену (NO, NO₂), хлорофлуоровуглеводні (фреони) і дрібні тверді часточки.

¹ Від грец. *xenos* — чужий і *bios* — життя.

Вони негативно впливають на здоров'я людей і тварин, а оксиди Сульфуру й Нітрогену є причиною кислотних опадів. Окрім газів, хімічними забруднювачами є речовини, що потрапляють у водойми зі стічних вод: їх утворюється до 160 млн кубічних метрів щороку. Здебільшого ці стоки забруднені йонами важких металів (переважно Плюмбумом, Купрумом і Цинком), продуктами розкладу полімерів, органічними розчинниками, кислотами, синтетичними мийними засобами. Деякі з цих речовин здатні накопичуватися в організмах і спричиняти порушення їхньої життєдіяльності та мутації. Ґрунт забруднюється як промисловими відходами, так і пестицидами та надлишками мінеральних добрив. Таке забруднення призводить до зменшення біорізноманіття й зміни складу біоценозів, зниження родючості ґрунтів.

Фізичне й механічне забруднення спричиняють погіршення умов існування організмів

До фізичного забруднення відносять світлове, шумове, теплове й радіаційне забруднення. Наприклад, шум підвищує втомлюваність людини й спричиняє стрес, а також порушує поведінку тварин у екосистемах. Існує теорія, що шум від нелегального будівництва Кримського мосту й російських військових навчань спричинив почастищення викидання дельфінів на берег у Чорному й Азовському морях у 2015–2018 роках (рис. 23.2, А). Світлове, теплове й шумове забруднення особливо характерне для великих міст (зокрема й в Україні). Нічні рівні шумів на магістральних вулицях наших міст можуть сягати 80 дБ, коли гранично допустимий рівень — 45 дБ. Загалом рівні хімічного та фізичного забруднення в містах є значно вищими, ніж в сільській місцевості.

Надзвичайно небезпечним є радіаційне забруднення. Основні його джерела — атомна енергетика (виробництво ядерного палива, робота реакторів та аварії на них, утилізація відпрацьованого палива) (рис. 23.2, Б) і випробування чи використання ядерної зброї. Накопичення радіоактивних атомів спричиняє



Рис. 23.2. Наслідки дії фізичних забруднювачів

А. Викидання китоподібних на берег може бути спричинене шумовим забрудненням морів і океанів. Б. Для зменшення рівня радіаційного випромінювання від четвертого енергоблоку Чорнобильської АЕС, він був накритий саркофагами: старим залізобетонним і новим — «Аркою».



Рис. 23.3. Наслідки механічного забруднення

А. Лелека, тіло якого заплуталось у пластикових пакетах, не може нормально літати.
Б. Труп альбатроса, що загинув від накопичення в його травній системі пластикового непотребу. **В.** Вода, зібрана з поверхні Великої тихоокеанської смітцевої плями.

підвищення доз радіації, яку отримують організми. А радіація є причиною мутагенезу й канцерогенезу — розвитку злякисних пухлин.

Ще одним розповсюдженим типом забруднення є **механічне**, або **засмічення** — коли в довкілля потрапляють забруднювачі неживої природи, що не впливають хімічно чи фізично. Здебільшого це тверде сміття, що повільно руйнується: пластикова тара й пакети, металобрухт, вироби із гуми й дерева, скляні пляшки. Його накопичення перешкоджає нормальному функціонуванню наземних екосистем, наприклад, зменшується проникність для світла, кисню й вологи. Також «нешкідливе» сміття насправді є небезпечним для тварин через свої механічні властивості — воно погіршує їхню рухливість, маскуваність чи перешкоджає життєдіяльності (рис. 23.3, А, Б). У центрі Тихого океану через особливості розташування течій сформувалася Велика тихоокеанська смітцева пляма площею близько 1 млн км² (понад півтори площі України!), на поверхні води у якій плаває до 100 млн т сміття (рис. 23.3, В). Із часом воно поступово розкладається, що спричиняє накопичення у воді й ґрунті значних кількостей отруйних речовин і розмноження небезпечних мікроорганізмів.



Унаслідок біологічного забруднення нові види змінюють усталені екосистеми

Останнім у класифікації за характером є **біологічне забруднення**. Воно виникає тоді, коли до екосистеми потрапляють небажані організми, що спричиняють вимирання видів і руйнування біоценозів¹. Найрозповсюдженішими біологічними забруднювачами є шкідливі й хвороботворні мікроорганізми. Вони негативно впливають на природні популяції бактерій та одноклітинних еукаріотів, а також спричиняють розвиток хвороб у багатоклітинних організмів і людини. Джерелами мікробіологічного забруднення є незнезаражені сільськогосподар-

¹ Новопривутий вид не завжди має негативний вплив на екосистему.

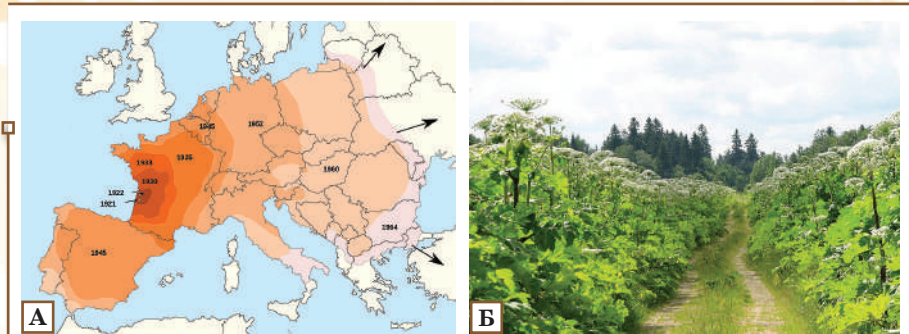


Рис. 23.4. Приклади інвазій

А. Розселення колорадського жука Європою.

Б. Борщівник Сосновського — один із найпоширеніших інвазійних видів в Україні.

ські, промислові й побутові стоки, трупи сільськогосподарських тварин, звалища сміття. Якщо біологічним забруднювачем є рослини чи тварини, то говорять про **інвазії**. Інвазійний вид перемагає в конкурентній боротьбі й спричиняє вимирання популяцій окремих видів у екосистемі. Також він може негативно впливати на сільське господарство та здоров'я людини. Класичним зразком такої інвазії є заселення колорадським жуком Європи: з'явившись на початку ХХ ст., протягом наступних років він швидко поширювався на схід (рис. 23.4, А). Україна стикнулася з інвазією борщівника Сосновського (рис. 23.4, Б), батьківщиною якого є Кавказ і Закавказзя. Він утворює токсичні для людини речовини, витісняє лучні рослини з природних місць зростання та активно заселяє нові території. Боротьба з ним ведеться на загальнодержавному рівні.

Рівень забруднення в різних регіонах України є неоднаковим

Згідно зі статистикою кожна шоста передчасна смерть у світі спричинена забрудненням довкілля, а це втричі більше смертей, ніж від СНІДу, малярії та туберкульозу разом узятих. На жаль, рівень забруднення території України є дуже високим: відповідно до даних Інституту впливів на здоров'я щороку лише від брудного повітря помирає 80 українців зі 100 тис. населення.



Найбільш забрудненими регіонами України є Придніпровський і Донбас, де зосереджена значна кількість підприємств важкої промисловості (рис. 23.5). Підприємства східного та південного регіонів України викидають до атмосфери більше 60 % усіх викидів у державі, у середньому по 0,3 т шкідливих речовин на гектар. При цьому шість міст України (Бурштин, Кам'янське, Курахове, Енергодар, Кривий Ріг і Маріуполь) відповідальні за майже 40 % усіх викидів до атмосфери, а промислові підприємства Києва є джерелом приблизно такої ж кількості викидів, як і вся Чернігівська область. Утім найбільшим забруднювачем повітря в Україні був і залишається автотранспорт. Тому великі міста країни мають, здебільшого, погану якість повітря.



Рис. 23.5. Загальний рівень забруднення території України (станом на 2013 рік)

Близько 15 % стічних вод України не проходять очищення або проходять його недостатньо. Найбільше забрудненої води скинуто підприємствами Запорізької, Донецької, Дніпропетровської, Київської областей та міста Києва. Питна вода в багатьох населених пунктах Сходу й Півдня держави містить забагато солей і є занадто твердою, при цьому найменш якісна вода — в Донецькій та Одеській областях.

Ґрунти в Донецькій, Луганській, Запорізькій, Херсонській, Миколаївській і Одеській областях містять більшу за ГДК концентрацію важких металів, тоді як на Півночі й Заході України якість ґрунтів відповідає нормам. Натомість у містах Кропивницькому, Маріуполі, Полтаві та Чернівцях у пробах ґрунтів перевищено ГДК за вмістом важких металів. Однак уміст нітратів і пестицидів на території всієї держави відповідає встановленим нормам.

Майже 75 % відходів на території України утворюється в процесі переробки мінеральної сировини на гірничодобувних підприємствах. Відповідно й накопичуються вони в регіонах, де здійснюється видобуток і переробка гірських порід — найбільше в Кіровоградській, Дніпропетровській і Донецькій областях. Щороку в країні утворюється близько 10 млн т побутових відходів, із яких утилізується лише 4,5 тис. т, а решта накопичується на 6 тис. офіційних і ще близько 28 тис. неофіційних сміттєзвалищах. При цьому найбільш небезпечні відходи нагромаджуються в Запорізькій, Сумській, Луганській і Донецькій областях через велику кількість індустриальних підприємств на їхній території.

Елементарно про життя

- 1. Засмічення території є небезпечним через
 - А зміну інтенсивності дії абіотичних факторів на організми
 - Б створення потужного електромагнітного поля на сміттєзвалищах
 - В велику кількість кисню, що утворюється під час розкладання сміття
 - Г гірший розвиток інвазійних видів на сміттєзвалищах
- 2. Виберіть подію, що НЕ є наслідком біологічного забруднення.
 - А загибель популяцій окремих видів
 - Б збільшення видового різноманіття екосистем
 - В руйнування трофічних мереж
 - Г збільшення кількості хвороб, що спричинені бактеріями
- 3. Оскільки вміст важких металів у ґрунтах Запорізької і Миколаївської областей перевищує ГДК, а пестицидів — не перевищує, то
 - А ґрунти Запорізької області є чистіші за ґрунти Миколаївської
 - Б пестицидів у ґрунтах Запорізької області менше, ніж важких металів
 - В ґрунти Запорізької і Миколаївської областей забруднені важкими металами
 - Г ГДК для важких металів є меншою за ГДК для пестицидів
- 4. Увідповідніть тип забруднення з конкретним прикладом.
1 хімічне 2 фізичне 3 механічне 4 біологічне
 - А потрапляння генномодифікованого штаму бактерій до стічних вод
 - Б накопичення будівельного сміття на прибудинковій території після ремонту
 - В накопичення солей Плюмбуму в ґрунтах мисливських угідь
 - Г зменшення чисельності птахів біля торців злітно-посадкових смуг аеропортів

У житті все просто

- 5. Чому найпоширенішим типом забруднення є саме хімічне? Чи можна його повністю запобігти?
- 6. Розгляньте карту, наведену на *рисунку 23.5*, та схарактеризуйте найбільш забруднені регіони України й причини такого стану.

У житті не все просто

- 7. Обміркуйте вдома й обговоріть у класі причини, що спонукають людей викидати сміття на стихійні сміттєзвалища. Як можна запобігти таким неекологічним діям громадян/громадянок?
- 8. Як правильно боротися із борщівником Сосновського? Дослідіть, як це роблять у вашій місцевості, та в разі потреби порекомендуйте зміни для його більш ефективного винищення.

Проект для дружної компанії

- 9. У світі все популярнішою стає концепція «Zero Waste», що має сприяти значному зменшенню, а теоретично й узагалі зведенню до нуля, відходів від життя. Складіть план реалізації цієї концепції у вашому навчальному закладі. Спробуйте реалізувати окремі його елементи за підтримки адміністрації установи.

§ 24. Антропоічний вплив на атмосферу

Збільшення концентрації парникових газів спричиняє глобальне потепління

Клімат окремих регіонів залежить від балансу енергії в атмосфері й гідросфері. Кількість сонячної енергії, що потрапляє на нашу планету, й кількість випроміненої у космічний простір підтримуються на одному рівні. Але останнім часом вивільнення енергії до космосу стало меншим за надходження через збільшення в атмосфері кількості парникових (тепличних) газів: вуглекислого газу, водяних парів, метану, нітроген(I) оксиду (табл. 24.1). Вони поглинають і розсіюють тепло, не дозволяючи йому залишити атмосферу. Унаслідок цього середня температура Землі поступово зростає приблизно на 0,2 °C кожні десять років (рис. 24.1).

Таблиця 24.1. Основні парникові гази

Парниковий газ	Зміна концентрації з доіндустріальної епохи, %	Джерело антропоічних викидів
Вуглекислий газ (CO ₂)	40 %	Спалювання викопного палива
Водяна пара (H ₂ O)	достовірно невідомо, спостерігається зростання	Випаровування з перезволожених полів, штучних водойм
Метан (CH ₄)	152 %	Виділення мікроорганізмами, що живуть у кишківнику домашньої худоби, компості, на сміттєзвалищах; вивільнення під час добування вугілля, добування й транспортування природного газу
Нітроген(I) оксид (N ₂ O)	19 %	Спалювання біомаси, викопного палива, денітрифікація надлишків нітрогеновмісних добрив

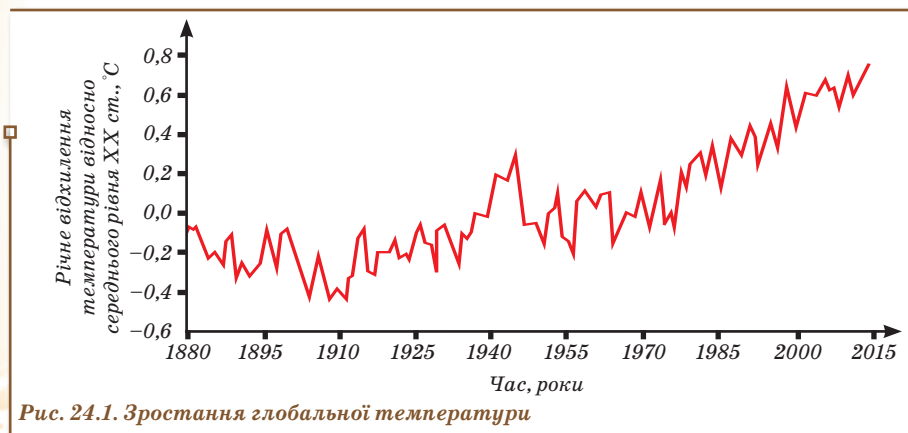


Рис. 24.1. Зростання глобальної температури

Найбільший внесок у парниковий ефект роблять вуглекислий газ (20 %), водяна пара (50 %) та краплинки води в хмарах (20 %). При цьому метан є в більш ніж 25 разів потужнішим парниковим газом, ніж вуглекислий, тому його вклад зростає швидше. Як видно з *таблиці 24.1*, основними джерелами антропогенних (антропогенних) викидів є добування й спалювання викопного палива, а також сільськогосподарська діяльність. Незважаючи на те, що основний внесок у парниковий ефект належить водяній парі, її кількість у атмосфері залежить від температури, яка своєю чергою залежить від умісту решти парникових газів. Отже, збільшення їхньої концентрації спричиняє й збільшення концентрації водяної пари. Тому «відповідальними» за глобальне потепління є якраз вуглекислий газ і метан.

Глобальне потепління спричиняє зміни клімату

Через підвищення температури на планеті спостерігається розбалансування клімату: відхилення температури від середньої стають усе більшими. Так, наприклад, у липні 2017 року середньомісячна температура повітря в Києві перевищувала на 1,6 °C кліматичну норму, а 5 серпня того ж року в Дніпрі — установила рекорд у +51 °C. Водночас частотність екстремальних спеки, посухи та надмірних злив зростають протягом останніх 40 років. Проте різкі похолодання відбуваються рідше, що робить клімат полярних країн і країн помірною клімату (як-от України) м'якшим і теплішим. Тривалі спеки й посухи спричиняють пересихання рослинності, зменшення врожаїв і почастішання лісових пожеж. Площі територій, що страждають від бездощів'я, зростатимуть і досягнуть половини всієї поверхні суходолу до 2050 року (*рис. 24.2, А*). А в занадто зволжених місцях кількість опадів протягом року лише збільшуватиметься. Усі ці зміни негативно позначаються як на живій природі, так і на житті людини.

Тривалість теплої періоду року вже зараз зростає через більш ранній прихід весни й пізній початок зими, особливо в полярних регіонах. Наприклад,



Рис. 24.2. Наслідки зміни клімату

А. Посухи в Африці спричиняють масову загибель худоби й різке зменшення врожаїв, тому мільйони людей опиняються на межі виживання.

Б. Потужні урагани завдають колосальної шкоди й забирають чимало життів.

у Канадській Арктиці весна починається тепер на два тижні раніше, ніж це було в минулому столітті, а 2017 року в Україні було найдовше літо за всю історію спостережень (на момент написання книги). Такі зміни звичної для організмів сезонності погіршують їхнє виживання. Підвищення температури океану є причиною посилення вітрів, збільшення висоти хвиль й сили ураганів, що завдаватимуть дедалі більшої шкоди природі й людській інфраструктурі (рис. 24.2, Б). А зміна океанічних течій унаслідок потепління може стати причиною зміни континентального клімату. До прикладу, сповільнення Північно-Атлантичної течії спричинить загальне похолодання клімату Європи.

Для сповільнення потепління необхідне швидке зменшення викидів вуглекислого газу

Згідно з прогнозами Міжурядової групи експертів із питань змін клімату в разі нехтування проблемою викидів парникових газів їхня кількість зросте на 100 % щодо теперішнього рівня до 2050 року, що спричинить підвищення температури майже на 8 °C до 2100 року. Тому треба якнайшвидше вжити заходів, спрямованих на зменшення їх викидів.

Найпростішим шляхом зменшення утворення парникових газів є припинення спалювання викопного палива задля отримання енергії. Для цього потрібно ввести ліміти й податки на викиди вуглекислого газу та покращити ефективність використання отриманої спалюванням енергії. Відмова від викопного палива й перехід на атомну чи відновлювану енергію (сонячну, вітрову, геотермальну, енергію біомаси тощо) є найперспективнішим напрямком розвитку енергетики з огляду на зменшення викидів. Утім, ці шляхи є економічно витратними, тож для їхньої реалізації можна використати гроші, отримані з «вуглекислотного податку». Крім цього, уловлювання вуглекислого газу на електростанціях і заводах та закачування його до підземних сховищ, а також збільшення площ лісів сприятиме сповільненню темпів зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері.

Забруднення атмосфери оксидами Сульфуру й Нітрогену спричиняє кислотні дощі

Окрім забруднення атмосфери парниковими газами, унаслідок людської діяльності в повітря потрапляють й інші речовини (табл. 24.2). Основними джерелами цих забруднювачів є електростанції й заводи, що спалюють викопне паливо, а також автомобільний транспорт. Леткі органічні сполуки й оксиди Нітрогену (NO, NO₂) небезпечні тим, що вони під дією світла здатні утворювати озон¹ й інші окисники, які є токсичними й спричиняють пошкодження покривів рослин (рис. 24.3), подразнення слизових оболонок у тварин і сприяють розвитку багатьох хвороб у людини. Також збільшення вмісту озону в приземному шарі повітря зменшує врожайі.

¹ Утворення озону в стратосфері (на висоті від 8–10 до 50–60 км) є природним процесом, але поява його в тропосфері (нижче 8–10 км) у значних кількостях є небезпечною для живого.

Таблиця 24.2. Основні забруднювачі атмосфери

Забруднювач	Дія на природу й організм людини	Джерело антропоїчного забруднення
Тверді частинки	Погіршує функціонування дихальної системи	Дим від горіння палива, пального чи сміття, пил
Леткі органічні сполуки	Сприяють формуванню озону, мають канцерогенну дію ¹	Неповне згорання викопного палива, випаровування розчинників і бензину, викиди виробництв
Чадний газ (CO)	Блокує перенесення кисню гемоглобіном, стимулює розвиток серцево-судинних захворювань	Неповне згорання палива
Нітроген оксиди (NO, NO ₂)	Сприяє виникненню кислотних опадів, формуванню озону, стимулює розвиток захворювань дихальної системи	Згорання викопного палива й автомобільного пального, пожежі
Сульфур(IV) оксид (SO ₂)	Сприяє виникненню кислотних опадів	Згорання викопного палива
Сполуки Плюмбуму (Pb)	Накопичуються в організмі й спричиняють різноманітні порушення його роботи	Виробництво батарей, виплавка свинцю, згорання викопного палива, пального й сміття
Органічні забруднювачі	Токсичні речовини, що мають канцерогенну дію	Згорання викопного палива й автомобільного пального, випаровування розчинників, будівельні роботи

Сірчистий газ (SO₂) та оксиди Нітрогену є причиною випадіння **кислотних опадів**. Кислотні опади (кислотні дощі) — це всі можливі види атмосферних опадів (туман, дощ, сніг, град), за яких кислотність розчину є більшою за звичайну (рН² < 5,5). Основними кислотами, що спричиняють підвищення кислотності, є сульфатна (H₂SO₄) та нітратна (HNO₃). Сульфур(IV) оксид під дією окисників перетворюється на сульфур(VI) оксид (SO₃), який під час розчинення у воді утворює сульфатну кислоту. У такий спосіб утворюється й нітратна кислота.

Випадіння кислотних опадів спричиняє закислення ґрунту й води. Через це гинуть мікроорганізми, гальмується процес гниття, сповільнюється ріст водної рослинності, збільшується смертність риб, руйнуються



Рис. 24.3. Листя, пошкоджене озоном

¹ Від лат. *cancer* — рак і грец. *genao* — породжувати: спричиняють появу злоякісних пухлин (раку).
² рН, або водневий показник, розраховується як від'ємний десятковий логарифм концентрації йонів Гідрогену: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$.



Рис. 24.4. Ліс, що постраждав від кислотних опадів

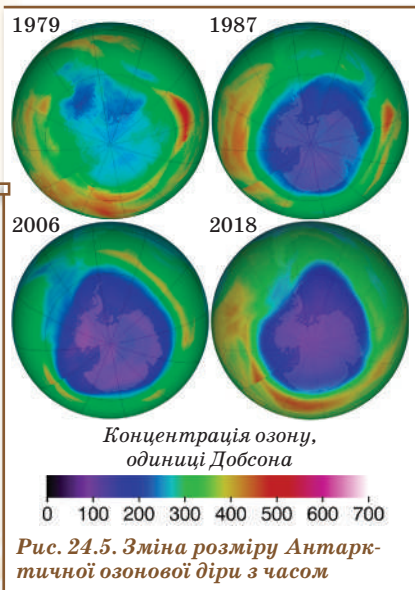
екзоскелети на основі карбонатів (у форамініфер, коралів, моллюсків), збільшується вимивання мінералів водою. Такі дії спричиняють вимирання популяцій і значні зміни видового складу екосистем (рис. 24.4), заболочування озер, зміну хімічних характеристик ґрунтів. Перешкодити цьому можна, відфільтрувавши оксиди із атмосферних викидів виробництв та зменшивши вміст Нітрогену в автомобільному пальному, або перейшовши на інший вид «пального» (водень, електрику, м'язову силу).

Озонові діри в атмосфері є наслідком забруднення атмосфери галогеновмісними органічними сполуками

Озоновий шар — це збагачена озоном (O_3) частина стратосфери на висоті 20–30 км. Його молекули кисню й озону поглинають ультрафіолетові промені з короткими та середніми довжинами хвиль (від 100 до 315 нм), не дозволяючи їм доходити до поверхні Землі. У 1980-х роках було помічено, що в деяких місцях концентрація озону в стратосфері зменшилася більш ніж на 50 %, спричинивши утворення так званих **озонових дір** над полюсами планети (рис. 24.5). Унаслідок «потоншення» озонового шару велика кількість ультрафіолету починає потрапляти на організми та спричиняє пришвидшення старіння шкіри,

появу мутацій і виникнення раку шкіри (меланому), розвиток катаракти (помутніння кришталика ока), загибель бактерій і, як наслідок, зменшення врожаїв.

Причиною появи озонових дір були легкі галогеновмісні органічні сполуки. Від них під дією ультрафіолетових променів відщеплюються атоми Хлору й Брому, що стають каталізаторами руйнування молекул озону. У 1970-1980-х роках галогеновмісні органічні сполуки використовувалися в холодильниках і кондиціонерах для охолодження, у деяких промислових процесах, як наповнювачі аерозольних балончиків та як пестициди. Після підписання Монреальського протоколу в 1987 році почалося обмеження й припинення виробництва речовин, що негативно впливають



на озоновий шар. Наприклад, у холодильниках і балончиках галогеноводні було замінено на алкани (пропан, бутан, пентан). Завдяки виконанню умов протоколу 196-ма країнами на початку 2010-х років кількість озону біля полюсів почала збільшуватися.



Смог утворюється в промислово розвинених містах

Промислові міста від початку індустріальної епохи почали все частіше страждати від **смогу**¹. Він дуже схожий на туман, проте містить значну кількість речовин антропоїчного походження, що роблять повітря непрозорим. Смог негативно впливає на здоров'я людей: подразнює слизові оболонки, спричиняє загострення хронічних і збільшення кількості гострих хвороб дихальної системи, підвищує частотність вад і смерті новонароджених, а також є причиною отруєння токсичними речовинами. Наприклад, Великий смог у Лондоні (*рис. 24.6, А*), що тривав чотири дні в грудні 1952 року, спричинив загибель близько 12 тис. людей у наступні місяці.

Перші **димові смоги** з'явилися внаслідок спалювання великих кількостей вугілля в містах і на заводах. Їх причиною було змішування частинок сажі й сірчистого газу з туманом у прохолодну безвітряну погоду. У середині ХХ ст. розвинені країни припинили активно спалювати вугілля, тому й частинок сажі в повітрі стало менше. Утім через викиди автомобільного транспорту виник інший вид смогу — **фотохімічний**. Він з'являється, коли значні кількості оксидів Нітрогену, летких органічних сполук і кисень взаємодіють між собою під дією ультрафіолетових променів і утворюють непрозору токсичну завісу в повітрі (*рис. 24.6, Б*). Наразі найчастіше від смогу страждають міста Індії, Китаю, Пакистану й Монголії. При цьому продукти фотохімічних реакцій уражають не тільки людей, але й рослин і тварин. Основним способом попередження смогу є встановлення ефективних очисних систем на автомобілі й підприємства, що здійснюють газові викиди.



Рис. 24.6. Смог у великих містах

А. Великий смог у Лондоні. **Б.** Пекін у сонячний день та в полоні смогу.

¹ Від англ. *smoke* — дим і *fog* — туман.

Фреони — озонові діроколи



Рис. А. Молекула дифлуоро-дихлорометану (фреону R-12).

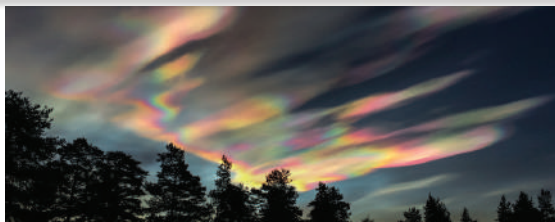


Рис. Б. Полярні стратосферні (перламутрові) хмари пришвидшують утворення хлор-радикалів.

Із винайденням у 1920–30-х роках ефективних методів синтезу флуорохлоровуглеводнів з'явилась можливість заміни амоніаку як холодоносія (хладогену) в холодильних установках і кондиціонерах. Ці речовини є нетоксичними й зручними, оскільки хімічно інертні (не горять і не вибухають, не взаємодіють із металами, кислотами, лугами), мають близькі до нуля температури кипіння й великі питомі теплоти випаровування й теплоємності. Завдяки цим властивостям вони не руйнують охолоджувальні системи й поглинають багато теплоти. Також такі холодоносії легко зріджуються, що дозволило використовувати їх і в аерозольних балончиках.

Але вже у 1960–70-х роках стало зрозуміло, що фреони (*рис. А*), як почали називати флуорохлоровуглеводні за найменуванням торгової марки одного з перших їх видів, значно пришвидшують руйнування озону в стратосфері. Під дією ультрафіолетового світла від фреонів відщеплюються радикали хлору ($\text{Cl}\cdot$), які перетворюють молекули озону на молекули кисню, а самі при цьому не витрачаються. Тобто хлор-радикали діють як каталізатор процесу розщеплення озону: один радикал знаходиться в стратосфері близько двох років і встигає за цей час зруйнувати понад 100 тис. молекул озону! Ба більше, атоми хлору можуть «консервуватися» в деяких атмосферних сполуках, із яких вони вивільняються згодом під дією світла. Через особливості повітряних потоків хлоровмісні сполуки почали накопичуватися в полярних широтах, спричиняючи там зменшення товщини озонного шару. Активну роль у цьому процесі відіграють полярні стратосферні (перламутрові) хмари, на поверхні частинок яких активно відбуваються процеси утворення хлору (*рис. Б*).

Завдяки підписанню в 1980-х роках Віденської конвенції про охорону озонного шару й Монреальського протоколу до неї, а згодом і Кіотського протоколу з урегулювання кількості парникових газів кількість фреонів, що потрапляє до атмосфери, почала поступово зменшуватися й знизилася більше ніж на 15 % від пікової кількості 25-тирічної давнини, а озонний шар почав відновлюватися. У побутових холодильниках і аерозолях фреони було замінено короткими вуглеводнями (ізобутаном, пентаном, пропенном), хоча в кондиціонерах продовжують використовувати флуорохлоропохідні, але вже більш безпечні.

Елементарно про життя

■ 1. Середньорічна концентрація водяної пари в атмосфері переважно залежить від

А людської діяльності **Б** кількості хмар **В** вмісту озону **Г** температури

■ 2. Оберіть зміну клімату, причиною якої є НЕ глобальне потепління.

А збільшення сили ураганів **Б** збільшення тривалості посушливих періодів

В зміна океанічних течій **Г** зростання кількості ультрафіолетових променів

■ 3. Які схеми реакцій ілюструють процес утворення сульфатної кислоти в атмосфері ([O] позначає окисник)?

А $\text{SO}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$, $\text{H}_2\text{SO}_3 + [\text{O}] \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

Б $\text{SO}_2 + [\text{O}] \rightarrow \text{SO}_3$, $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

В $\text{SO} + [\text{O}] \rightarrow \text{SO}_2$, $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

Г $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$, $\text{H}_2\text{SO}_3 + [\text{O}] \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

■ 4. Зазначте дію, що сприяла відновленню вмісту озону в стратосфері.

А обмеження викидів вуглекислого газу

Б встановлення газових фільтрів на заводах

В заміна теплоносіїв у холодильниках

Г перехід на використання сонячної енергії

■ 5. У відповідність забруднювач і його дію на атмосферу.

1 фенол

2 сульфур(IV) оксид

3 трихлорфлуорометан

4 частинки сажі

А утворення фотохімічного смогу

Б випадіння кислотних опадів

В збільшення хмарності

Г утворення димового смогу

Д руйнування озонового шару

У житті все просто

■ 6. Яку екологічну проблему відображає малюнок? Запропонуйте кілька змін у повсякденні, що дозволили б зменшити вашу участь у розвитку цієї проблеми.

■ 7. Чи можна повністю уникнути утворення кислотних опадів? Як нейтралізувати їхній вплив на агроєкосистеми?

■ 8. Чому поява смогу загрожує і містам України? У яких із них він виникатиме найперше?



У житті не все просто

■ 9. Які причини того, що заходи щодо зменшення викидів парникових газів не дають бажаного ефекту? Як переконати уряди активніше сприяти зменшенню викидів?

■ 10. Одним із напрямків зменшення забруднення атмосфери є перехід транспорту на водневе паливо. У чому переваги цієї технології та які її недоліки? Скільки такі автомобілі коштуватимуть?

§ 25. Антропічний вплив на гідросферу

Наслідком накопичення вуглекислого газу в атмосфері є закислення океанічних вод

Активне спалювання викопного палива для отримання енергії спричинило накопичення вуглекислого газу в атмосфері. За своєю хімічною природою вуглекислий газ є кислотним оксидом, тому при розчиненні у воді він утворює слабку карбонатну кислоту (H_2CO_3). Через поглинання CO_2 океанами зросла її концентрація у воді. Це спричинило збільшення кислотності приблизно на 0,1 рН за останні 250 років. Така зміна негативно впливає на організми, до складу скелетів яких уходить кальцій карбонат (вапняк) через те, що за підвищеної кислотності він поступово розчиняється, і кількість доступних карбонат-іонів у воді зменшується. Одноклітинним еукаріотам, коралам і молюскам за таких умов складніше будувати й підтримувати зовнішні вапнякові скелети (рис. 25.1). Оскільки коралові рифи є домівкою для 25 % усіх видів морських організмів, то внаслідок зникнення рифів можуть загинути тисячі інших організмів. Не варто забувати й про закислення материкових вододій через накопичення кислотних опадів, про які йшлося в попередньому параграфі.



Рис. 25.1. Зникнення екосистеми коралового рифу внаслідок закислення океанічних вод

Глобальне потепління спричиняє підвищення рівня Світового океану

Унаслідок підвищення середньорічної температури на планеті дедалі зростає темп танення льоду полярних широт. Так, наприклад, за останнє десятиліття його площа в Арктиці зменшилась майже на 14 % (рис. 25.2). Танення високогірних льодовиків негативно впливає на екосистеми, що розташовані нижче, оскільки тала вода часто є єдиним джерелом вологи для посушливих гірських плато. Швидке її надходження часто спричиняє повені й ґрунтові потоки, що руйнують стабільні біоценози й поселення людей, а також є причиною заболочування окремих місцин.

Зрештою, вода від талого льоду потрапляє у Світовий океан, що спричиняє поступове підвищення її рівня в ньому (рис. 25.3). Глобальне потепління також сприяє тепловому розширенню води в гідросфері. Наслідком цих процесів є те, що протягом останніх років рівень води в морях і океанах підвищується чи збільшується на 3,3 мм щороку. Згідно із різними прогнозами до 2100 року



Рис. 25.2. Танення льоду внаслідок глобального потепління

А. Зменшення площі арктичного льоду.

Б. Зменшення об'єму і площі льодовика М'юра на Алясці.

рівень підвищиться ще на 0,6–2,7 м щодо рівня 2010 року. Найбільше від цього постраждають островні держави, середня висота території яких часто не перевищує 1–3 м над рівнем моря. Наприклад, до 2100 повністю або частково «потонуть» Мальдіви, Соломонові й Маршалові острови. Цілі квартали міст, розташованих на узбережжі, можуть бути затоплені. Унаслідок розмивання берегів пришвидшиться руйнування берегової лінії багатьох країн. Підняття рівня моря змінить умови в значній кількості прибережних і берегових екосистем, спричинивши зникнення сотень видів організмів.

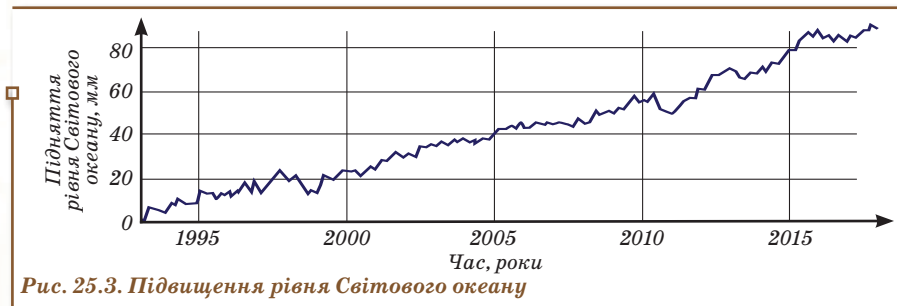


Рис. 25.3. Підвищення рівня Світового океану

У світі спостерігається дедалі більша нестача чистої води

Лише 0,3 % всього об'єму гідросфери припадає на прісну воду, що є доступно для споживання людиною. Від її використання залежить близько 40 % урожаїв і 20 % електроенергії, що виробляється у світі. Але окремі країни забезпечені чистою водою по-різному, і сьогодні близько 0,8 млрд людей не мають доступу до чистої питної води. Через територію України протікає щорічно близько 1000 м³ річкової води в розрахунку на одну людину, при цьому 48 % її використовує промисловість, 40 % — сільське господарство й лише 12 % застосовується в побуті й комунальному господарстві. Тим не менш, наукова спільнота вважає водозабезпеченість України недостатньою, особливо її східних і південних регіонів.

При цьому кількість доступної води на певній території залежить і від швидкості її біогеохімічного колообігу в природі: якщо кількість опадів зменшиться, то зменшиться й кількість доступної прісної води. Вирубування лісів, осушування боліт, приховування ґрунту під штучним покриттям (асфальтом,

плиткою, бетоном) зменшують кількість води, що випаровується з поверхні Землі. Це спричиняє зниження вологості повітря й зменшення кількості опадів. А інтенсифікація використання води в промисловості й сільському господарстві, побудова гребель і ставків часто є причиною недостатньої зволоженості регіонів, що розташовані в нижній течії річок.

Основну небезпеку для людського здоров'я становить біологічне забруднення гідросфери

Звичайно ж, кількість чистої води зменшується також і внаслідок забруднення. Основними забруднювачами гідросфери є патогенні мікроорганізми, гельмінти та хімічні речовини (табл. 25.1).

Таблиця 25.1. Основні забруднювачі гідросфери

Природа забруднювача	Вид забруднювача	Джерело антропоічного забруднення	Дія на природу й організм людини
Біологічна	Мікроорганізми, гельмінти та їхні яйця	Екскременти інфікованих людей і тварин із каналізаційних стоків та змивів ферм	Порушення обміну речовин, отруєння організму, руйнування тканин
Хімічна	Рештки життєдіяльності організмів	Дощові й каналізаційні стоки, змиви ферм	Під час гниття поглинається розчинений кисень
	Неорганічні речовини	Стічні води виробництв, змиви з полів, прориви дамб відстійників, каналізаційні стоки, атмосферні викиди	Отруюють організми, спричиняють евтрофікацію, засолення й закислення водойм
	Органічні речовини	Стічні води виробництв, змиви з полів, розливи нафтопродуктів	Отруюють організми, порушують газообмін і освітлення у воді

Разом із екскрементами хворих тварин і людей до води потрапляють збудники численних небезпечних хвороб: черевного тифу, холери, дизентерії, сальмонельозу, гепатиту, гельмінтозів¹. При вживанні брудної води, немитих продуктів харчування чи купанні в біологічно забруднених водоймах (рис. 25.4) ці патогенні організми можуть потрапити в організм людини й спричинити важкі

¹ Так називають захворювання, що виникають унаслідок зараження організму паразитичними червами — гельмінтами (глистами).



Рис. 25.4. Річка Ганг

Використання її води мільйонами людей для пиття, прання й скидання нечистот робить її одним із найбільших джерел інфекцій у світі.

захворювання. Дезінфекція води, використання каналізації та її ефективне очищення, упровадження, підтримання і контроль за гігієнічними показниками, а також валеологічна¹ освіта сприяють значному зменшенню ризику такого зараження (докладніше про гігієнічні навички йтиметься у § 34).

Хімічне забруднення водойм спричиняє загибель організмів

Рештки життєдіяльності організмів є природним компонентом водних екосистем. Але їхнє надходження у водойми значно зросло через масове потрапляння до водойм неочищених каналізаційних стоків і змивів із ферм. Гниття решток під впливом бактерій-редуцентів є аеробним процесом, під час якого споживається кисень, розчинений у воді. Через інтенсифікацію гниття вміст кисню у воді зменшується у 2–5 разів, що спричиняє його нестачу для водних організмів, які починають гинути. Такі «мертві зони» часто можна побачити в місцях впадіння рік, що приносять рештки, у озера чи моря.

Подібне вичерпання кисневих запасів може бути й наслідком евтрофікації через надмірне потрапляння до води змивів мінеральних добрив із полів, що містять надлишкові кількості Нітрогену й Фосфору (про механізми евтрофікації йшлося в § 19 і § 22). Іще одним джерелом Фосфору у водоймах є широке використання фосфоровмісних мийних засобів, які потрапляють у річки разом із неочищеними стічними водами. Від евтрофікації страждають як дрібні річки, через їхню незначну водоносність, так і акваторії Чорного й Азовського морів, особливо біля гирл річок. Наслідком такого забруднення є значне скорочення рибних ресурсів морів, через що вилови деяких видів риб скоротилися більш ніж у 10 разів за останні півстоліття.

На жаль, через низький рівень очистки стічних вод (в Україні зі стічних вод вилучається лише 10–40 % забруднювачів), а також через надмірне використання отрутохімікатів на полях до водойм потрапляють великі кількості важких металів і синтетичних органічних речовин, що здатні накопичуватися в організмах, передаватися харчовими ланцюгами (згадайте приклад про ДДТ у тканинах пінгвінів, викладений у § 14) і потрапляти до продуктів харчування людини. У результаті, виживання багатьох популяцій, існування цілих екосистем та здоров'я людини опиняються під великою загрозою.



Рис. 25.5. Наслідки розливу нафтопродуктів

А. Море з нафтовими плямами. **Б.** Пінгвін, укритий плівкою з мазуту.

¹ Від лат. *valeo* — бути здоровим і грец. *logos* — учення: валеологія — це вчення про здоров'я і здоровий спосіб життя.

Нафта й нафтопродукти, які потрапляють під час аварій чи недбалого ставлення до відходів, укривають водну поверхню плівкою, що порушує газообмін і освітлення водних екосистем, а також убиває організми (рис. 25.5).

Оцінка екологічного стану водойм ґрунтується на багатьох критеріях

Основним критерієм безпечності води є гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин у ній. Завдяки цьому можна оцінити її якість і наявність хімічного забруднення. Окрім ГДК, санітарні норми визначають кількість бактерій і зважених частинок, прозорість, колір, запах води, що надходить до споживачів. Однією з найважливіших характеристик природних водойм є біохімічна потреба кисню — кількість кисню, що потрібна для окиснення наявних у воді органічних речовин. Цей параметр вказує на кількість органіки у воді й можливий розвиток кисневого дефіциту. Як вже зазначалося раніше, у забруднених органікою водоймах спостерігається значне зменшення біорізноманіття. Ефективним способом визначення стану водойми також є метод біологічної індикації, який заснований на вивченні наявності й щільності особин індикаторних видів у водній екосистемі (докладно цей метод було описано в § 12).

Збереження чистоти водойм і уникнення виснаження водних ресурсів є реальним

Існує кілька шляхів зменшення витрат води на виробництві, у сільському господарстві й побуті, що має не лише екологічну, але й економічну доцільність. Значна кількість підприємств намагаються впроваджувати технологічні процеси, що дозволяють економити воду. Наприклад, охолодження устаткування може здійснюватися потужним потоком повітря замість омивання водою. Економити воду можна й у побуті, закривши кран під час чищення зубів чи намилювання. Іншим шляхом є повторне використання води чи циркуляція її замкненими циклами, коли вода, що вже виконала свою функцію, використовується знову в іншому процесі чи такому ж після відповідної обробки. До речі, цей метод легко адаптувати для домашнього вжитку, використавши брудну воду після миття посуду для змиву в туалеті чи воду після миття підлоги для поливу городу або квітів.

Задля зменшення кількості хімічних і біологічних забруднювачів, що потрапляють у водойми, стічні води підприємств і каналізаційна вода проходять обробку на очисних спорудах (рис. 25.6), кількість яких в Україні сягає 2,8 тисяч. Це дозволяє відокремити хімічні речовини й знищити або суттєво зменшити кількість небезпечних мікроорганізмів. На жаль, значна частина цих споруд у нашій країні потребує реконструкції та осучаснення.



Рис. 25.6. Очисні споруди міста Чернігів

Елементарно про життя

- 1. Розгляньте графік на *рисунок 25.2, А* й визначте, як змінилася кількість льоду в Арктиці з 2000 до 2010 року.
А збільшилася на 3,5 тис. км² **Б** зменшилася на 25 тис. км²
В збільшилася на 2,5 млн км² **Г** зменшилася на 1,5 млн км²
- 2. Арсен і Дарина висловилися щодо причини зниження вмісту кисню в річковій воді. Арсен упевнений, що причиною цього є надмірне надходження кухонної солі з кар'єру, розташованого поруч. А Дарина вважає, що причина в інтенсивному гнитті органічних решток. Хто з них має рацію?
А лише Арсен **Б** лише Дарина **В** обидвоє **Г** жоден
- 3. Одним із способів економії води на виробництві є
А використання води для охолодження
Б охолодження обладнання за допомогою вентиляторів
В одноразове використання води для промивання руди
Г очищення стічних вод після використання
- 4. Увідповідніть забруднювач і його вплив на гідросферу.
- | | |
|----------------------|--|
| 1 вуглекислий газ | А поширення інфекційних хвороб |
| 2 екскременти тварин | Б погіршення надходження кисню з повітря у воду |
| 3 мазут | В підвищення солоності водою |
| 4 фосфатні добрива | Г зниження рН води |
| | Д «цвітіння води» |

У житті все просто

- 5. Чому наявність каналізації зменшує ризик інфікування біологічними забруднювачами? Які ще особливості нашого побуту повинні сприяти цьому?
- 6. Порівняйте різні види хімічних забруднювачів за їхньою дією на природу. Які з них, на вашу думку, є найбільш небезпечними й чому?

У житті не все просто

- 7. Одного дня в ставку поряд із вашим будинком на поверхню спливла велика кількість мертвої риби. Запропонуйте кілька гіпотез, що пояснювали б її масову загибель. Як їх можна перевірити?
- 8. Запропонуйте кілька способів зменшення забруднення й економії водних ресурсів у домашньому побуті. Порівняйте їх за співвідношенням ціна/ефективність та ефективність/зручність. Чому люди, здебільшого, нехтують цими методами?

Проект для дружної компанії

- 9. Якість води, що ми вживаємо.
- 1) Відберіть зразок води, що ви щоденно вживаєте, чи зразок із поряд розташованої водоюми.
 - 2) Здайте зразок в організацію, що може здійснити аналіз її якості (зазвичай це лабораторії в районних і міських санітарно-епідеміологічних станціях).
 - 3) Порівняйте отримані результати зі стандартами, що затверджені в Україні.

§ 26. Антропоційний вплив на літосферу

Добування корисних копалин із надр погіршує стан навколишнього середовища

Зі збільшенням чисельності людства й розвитком технологій зростають масштаби використання надр. Нині видобувається близько 200 видів корисних копалин масою до 25 млрд т щороку й використовується майже 90 різних хімічних елементів! При цьому лише близько 1 % маси видобутих твердих копалин потрапляє до кінцевих продуктів, а решта перетворюється на відходи.

Під час видобування значною мірою руйнується не тільки поверхневий шар біосфери, але й внутрішні пласти літосфери. Унаслідок цього зникають природні екосистеми, порушується ґрунтовий покрив, забруднюються й змінюються поверхневі та підземні води. Шахти й кар'єри, що з'являються під час розробки родовищ, часто є причинами землетрусів, зсувів ґрунту, обвалів породи (рис. 26.1). Розгортання й підтримання промислової інфраструктури (прокладання доріг, ремонт устаткування тощо) також негативно впливає на довкілля.



Рис. 26.1. Наслідки добування корисних копалин

А. Обвал породи над калійною шахтою на Львівщині.

Б. Зсув ґрунту біля кар'єру на Закарпатті.

Унаслідок нераціонального ставлення до ґрунтів відбувається дегуміфікація

Близько третини площі всього суходолу використовується людством для отримання продуктів харчування. Основним джерелом родючості цих земель є ґрунт, що забезпечує рослини потрібними хімічними елементами й водою. Утім надмірне використання ґрунтів для отримання сільськогосподарської продукції спричиняє їх виснаження (деградацію), і, як наслідок, зменшення врожайів.

Однією з ознак виснаження ґрунту є зменшення вмісту гумусу (органічних речовин) у ньому — дегуміфікація. Її причиною є неправильне ведення господарства й споживацьке ставлення до землі, коли з ґрунту із врожайами виноситься більше поживних речовин, ніж повертається, а також його ерозія. За останнє століття вміст гумусу в українських чорноземах зменшився у шість разів! Для його відновлення землі повинні час від часу перебувати під паром у складі степових екосистем. Випалювання стерні, лук і степових ділянок, забруднення їх токсичними речовинами, зменшення шпаристості через обробку

угідь важкою технікою спричиняють загибель ґрунтової мікрофлори, що сповільнює темп відновлення гумусу.

Ерозія ґрунту є причиною його виснаження й опустелювання

Найбільш масштабними процесами руйнування ґрунту є вітрова й водяна ерозії, під час яких родючий шар розпадається на окремі фрагменти, що виносяться під дією зовнішніх сил. Близько 80 % усіх виснажених ґрунтів Землі складають саме еродовані. Основна причина антропоїчної (антропогенної) ерозії полягає в погіршенні зчеплення частинок ґрунту внаслідок розорювання, надмірного випасу худоби, вирубки лісів. Через ерозії українські чорноземи щороку втрачають близько 19 млн т гумусу. Також ґрунтовій ерозії сприяють надмірна чи недостатня зволоженість ґрунту, що часто є наслідком зміни річкового й ґрунтового водостоку. Так, наприклад, в Україні нині підтоплено понад 50 тис. га зрушуваних земель.

У посушливих регіонах, що охоплюють понад 40 % суходолу, антропоїчна ерозія спричиняє **опустелювання** (рис. 26.2, А). У його процесі земля стає неродючою, легко руйнується вітрами, що породжують пилові бурі. Процесам опустелювання сприяє глобальне потепління й зміна клімату, під впливом яких зменшується кількість опадів у посушливих місцях.

Найефективнішим способом боротьби з опустелюванням є висаджування лісу. Кенійська громадська діячка, лауреатка Нобелівської премії миру Вангарі Маатаї 1970 року заснувала загальноафриканський рух «Зелений пояс», учасниками й учасницями якого було висаджено більше 30 млн дерев. Згодом їхня діяльність стала основою проекту «Великий зелений мур» — смуги лісів на межі пустелі Сахари із більш родючими південними землями, покликаної зупинити опустелювання. Завдяки схожому проекту під художньою назвою «Приборкання жовтого дракона» в Китаї за 40 років було висаджено понад 500 тис. км² штучного лісу, який сповільнив розширення пустелі Гобі (рис. 26.2, Б).



Рис. 26.2. Опустелювання й боротьба з ним

А. Пересохлий ґрунт у долині розтріскується через нестачу води.

Б. Карта проекту «Приборкання жовтого дракона».

Забруднення ґрунтів є причиною зменшення врожаїв і отруєння природних екосистем

Намагаючись зібрати максимальні врожаї, аграрії часто вносять до ґрунту надмірні кількості добрив. Ці надлишки накопичуються й перетворюються на забруднювачі. Основними серед них є різноманітні аніони кислот — нітрати (NO_3^-), сульфати (SO_4^{2-}), фосфати (PO_4^{3-}). У результаті їхня концентрація в ґрунті виходить із зони оптимуму й спричиняє лімітувальну дію на ріст і розвиток рослин (це є наслідком виконання законів оптимуму й толерантності, про які йшлося у § 14), через що зменшуються врожаї. Тому об'єми внесення добрив повинні бути добре розрахованими та відмінними навіть для сусідніх ділянок поля, якщо їхній хімічний склад відрізняється.

Іншим джерелом забруднення є пестициди, якими обробляють поля й сади для боротьби зі шкідниками (бур'янами, рослиноїдами, паразитами) (рис. 26.3, А). Ці речовини негативно впливають не тільки на ті види, проти яких спрямована їхня дія, але й на інші організми, що проживають у агроекосистемах чи поряд із ними, тому що часто передаються харчовими ланцюгами. У результаті порушуються нормальні процеси функціонування екосистем, загальмовується відновлення гумусу. Крім того, оскільки шкідники стають дедалі стійкішими до пестицидів, то ефективність цих препаратів знижується. Сучасні агрохімікати повинні швидко розпадатися в природі й діяти лише на певну групу — на організми-шкідники.

Під час роботи на полях важка техніка стає джерелом забруднення території мастилом, паливом, аерозолями й відпрацьованими газами. Також, здіймаючи куряву, трактори, комбайни й вантажівки є причиною пилового забруднення угідь, що призводить до зменшення ефективності фотосинтезу. Тому лише справна сучасна техніка може забезпечити «чисту» обробку полів і садів.

Часто до ґрунтів потрапляють відходи промислових виробництв, наприклад, унаслідок змивання з відвалів породи, вимивання зі сховищ, поганого зберігання (рис. 26.3, Б). Відходи можуть містити великі кількості важких металів, солей, лугів, отруйних

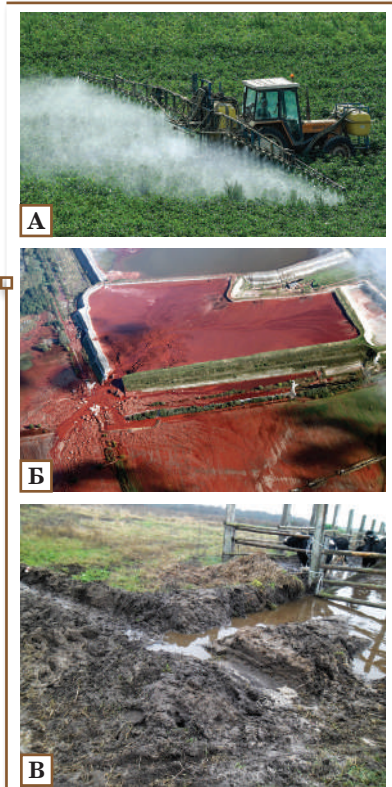


Рис. 26.3. Джерела забруднення ґрунтів

- А. Обробка поля пестицидами.
- Б. Витік відходів алюмінієвого виробництва через прорив накопичувача червоного шламу.
- В. Змивання тваринних екскрементів із ферми.

органічних речовин, радіонуклідів, що пригнічують життєдіяльність ґрунтових організмів і культурних рослин. При цьому виникає небезпека потрапляння до продуктів харчування сполук із відходів разом із врожаєм. Змиви з автомобільних доріг й залізничних шляхів містять підвищені концентрації окремих речовин, тож біоценози біля транспортних артерій відрізняється від більш віддалених видів складом і рівнем забруднення.

Джерелом біологічного забруднення є неочищені стоки з тваринницьких ферм чи приватних господарств (рис. 26.3, В). Зараження ґрунту надмірною кількістю невластивої мікрофлори пригнічує нормальні мікробіологічні процеси в ньому, що виявляється в зниженні родючості, швидшому виснаженні й ерозії. Контроль за такими забрудненнями є важливим і для тваринників, оскільки продуктивність вирощування худоби багато в чому залежить від якості розташованих поряд пасовищ.

Зрештою, забруднювачі до ґрунту можуть потрапляти з повітря разом із опадами. Яскравим прикладом такого процесу є кислотні дощі, що спричиняють закислення середовища. Таке підвищення кислотності завдає удару не тільки по мікроорганізмам, але й змінює хімічний склад ґрунту. Кислі ґрунти містять більше йонів Алюмінію, який є отруйним для багатьох рослин, а йони Кальцію й Магнію легше вимиваються з них, оскільки переходять до складу більш розчинних сполук. Загалом, контроль за забрудненням ґрунтів є необхідною умовою підтримання продуктивності агроценозів й забезпечення людства їжею.

Зміни в технологічних процесах сприяють зменшенню кількості промислових відходів

Більшість твердих відходів в Україні виникають унаслідок роботи промисловості. Переважно це відвали пустої породи, що утворюються після видобування з руди корисних копалин (рис. 26.4). Крім того, частина виробничих відходів закопується в ґрунт у спеціальних місцях зберігання. Ці відвали й сховища є джерелом різноманітних забруднювачів, про які вже йшлося раніше.

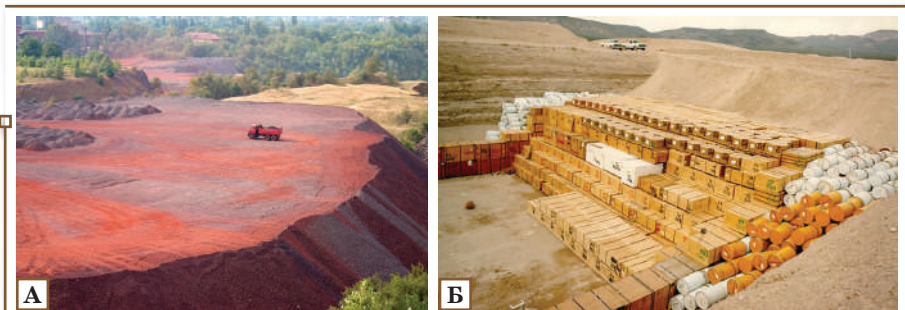


Рис. 26.4. Промислові забруднювачі літосфери

А. Відвал порожньої породи біля Кривого Рогу.

Б. Закопування радіоактивних відходів.

Найефективніший спосіб боротьби з відвалами пустої породи — це зменшення їхньої кількості завдяки зміні технологічних процесів, коли відпрацьована порода одного виробництва використовується на іншому. Ефективне очищення твердих відходів від токсичних речовин дозволяє використати їх у інших галузях господарства: побудові гребель, насипів, доріг, вирівнюванні рельєфу під час будівництва. Упровадження ідей **зеленої хімії** у виробництво дозволяє зменшити кількість токсичних відходів шляхом зміни розчинників, умов проведення реакцій, суті процесів на більш екологічно безпечні.

Правильна утилізація побутових відходів є необхідним заходом у боротьбі із забрудненням

Щороку кожен з українців у середньому створює близько 250 кг твердого побутового сміття, основними компонентами якого є папір, харчові рештки й бадилля, пластик, метали, резинові вироби, тканини, скло, деревина. Рівень утилізації побутового сміття в Україні за різними оцінками сягає 1–5 %, а основна його кількість накопичується на легальних і нелегальних сміттєзвалищах площею до 10 тис. га. І через низьку швидкість розкладання відходів (50–500 років залежно від матеріалу) площі сміттєвих полігонів надалі лише зростатимуть. При цьому увесь цей час сміттєзвалища будуть джерелом забруднення ґрунту й ґрунтових вод, смороду й отруйних речовин у повітрі, а також біологічних забруднювачів. Утім сміттєві полігони можуть використовуватися для отримання біогазу (складається з метану та деяких інших газів), що виділяється під час анаеробного розкладання органічних речовин і може використовуватися для отримання енергії (рис. 26.5, А). У такому випадку сміття, принаймні, не буде перегнивати задарма.

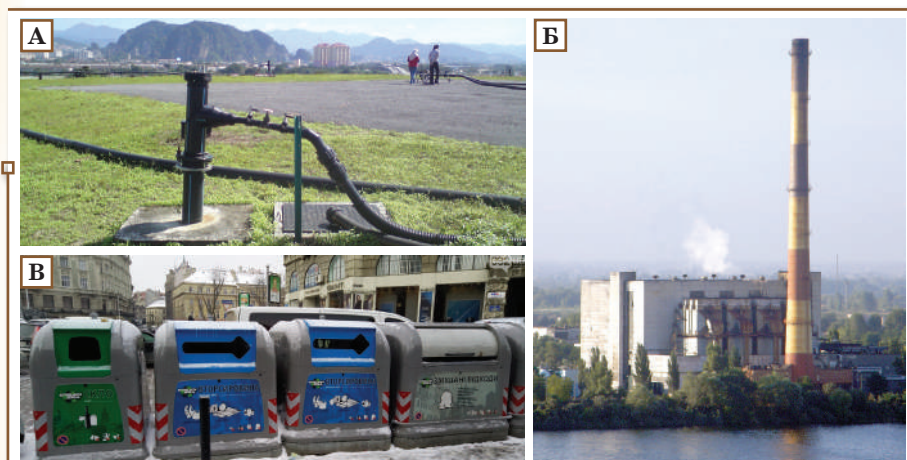


Рис. 26.5. Переробка промислових відходів

А. Біогазова свердловина на засипаному землі сміттєзвалищі. Б. Сміттєспалювальний завод «Енергія» в Києві. В. Контейнери для роздільного збору сміття у Львові.

Найпопулярнішим способом зменшення кількості сміття, що захоронюється на сміттєвих полігонах, є його спалювання. Станом на 2018 рік в Україні функціонує лише один такий завод (рис. 26.5, Б), на якому спалюється близько 250 тис. т побутового сміття щороку. Такий спосіб утилізації є вигідним з огляду на можливість отримання енергії з нього, але при цьому до атмосфери викидаються додаткові порції вуглекислого газу.

Тому більш ефективним способом утилізації є сортування побутових відходів й повторне їхнє використання. Під час сортування разом збираються ті відходи, що можна використати для однотипної повторної переробки чи знищення: пластик, скло, папір, харчові відходи, електроприлади (рис. 26.5, В). Отримані групи сміття надалі намагаються максимально повторно використати: із паперу, наприклад, роблять картон, пластик і метали переплавляють у нові вироби, із харчових відходів отримують органічні добрива. Для того, щоб спростити сортування і переробку матеріалів, виготовлених з одного матеріалу, їх позначають спеціальними міжнародними кодами переробки (рис. 26.6). Унаслідок кількості відходів значно зменшується: Швеції вдалося довести утилізацію сміття до такого рівня, що на сміттєві полігони потрапляє лише 1 % від усіх побутових відходів!

Не менш ефективним шляхом боротьби зі сміттям є зменшення його утворення. Наприклад, вироби повинні мати мінімальну можливу масу, а паперові документи якнайбільше замінятися електронними носіями інформації. Упровадження біодеградабельних матеріалів у виробництво сприятиме швидкому руйнуванню сміття в природі.

Численні держави світу, серед яких і Україна, упроваджують елементи природозбережливості освіти у свої навчальні програми. Вони сподіваються, що побутові філософії «нове замість ще справного старого», «усе нове — модне», «різноманітніше, більше, потужніше» повинні відійти в минуле, а нові придбання здійснюватися людьми лише з огляду на необхідність та екологічну ефективність.



Елементарно про життя

- 1. Ліси протидіють опустелюванню завдяки
А перешкоджанню ерозії ґрунту Б пришвидщенню колообігу Карбону
В зменшенню кількості опадів у регіоні Г зменшенню кислотності ґрунту
- 2. Укажіть дві риси сучасних екологічно безпечних пестицидів.
А велике різноманіття видів, на які діють, і стійкість у природі
Б токсичність лише у великих дозах і нездатність накопичуватися в організмах
В швидке руйнування в природі та малий спектр видів, на які діють
Г швидке поширення харчовими ланцюгами та рідка форма
- 3. Оберіть групу відходів, що утилізуються разом.
А старі книги, картонні коробки, непотрібні паперові документи
Б ноутбуки, мобільні телефони, автомобілі
В поліетиленові пакети, зламані меблі, одноразовий пластиковий посуд
Г недоїдки, одяг, взуття
- 4. Увідповідніть антропоційний вплив на літосферу та його наслідки.
- | | |
|---|---|
| 1 видобування корисних копалин із-під землі | А зміна мікробіологічного складу ґрунту |
| 2 обробка полів тракторами | Б збільшення кількості гумусу в ґрунті |
| 3 виливання стічних вод із тваринних ферм на поля | В зменшення шпаристості ґрунту |
| 4 накопичення сміття на сміттєзвалищах | Г порушення природних екосистем унаслідок зсувів ґрунту |
| | Д забруднення ґрунтових вод |

У житті все просто

- 5. Схарактеризуйте заходи, що дозволяють сповільнити дегуміфікацію українських чорноземів.
- 6. Чому сміттєві полігони є не найкращим способом вирішення проблеми побутового сміття?

У житті не все просто

- 7. Часто можна почути думку про те, що викинуті в сміття батарейки є надзвичайно небезпечними для довкілля. Чи справді це так? Як переробляють і для чого використовують продукти переробки батарейок?
- 8. Як можна реалізувати ефективну утилізацію в межах населеного пункту, де ви проживаєте?

Проект для дружної компанії

- 9. Ліквідація стихійних сміттєзвалищ.
- 1) З'ясуйте наявність стихійних сміттєзвалищ поряд із вашим місцем проживання.
 - 2) Перевірте чи позначені вони на інтерактивній мапі Міністерства екології та природних ресурсів України. Повідомте про ті, яких немає на мапі, за допомогою сервісу «Залишити звернення» на сайті.
 - 3) Перевірте згодом виконання вашого звернення й ліквідацію сміттєзвалищ.



§ 27. Антропічний вплив на біорізноманіття

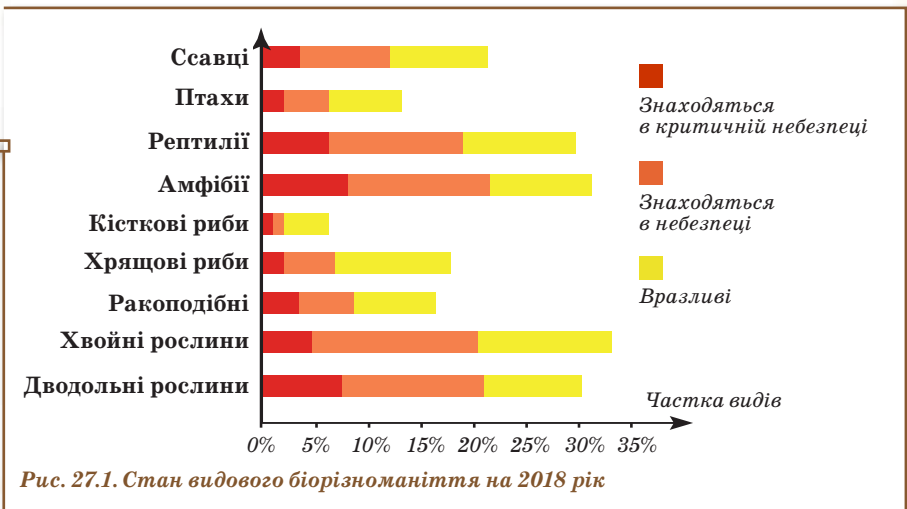
Біорізноманіття забезпечує стабільність екосистем і біосфери

Біологічне різноманіття, або скорочено біорізноманіття — це розмаїття організмів із усіх джерел та екологічних комплексів, складниками яких вони є. Зазвичай під біорізноманіттям розуміють видове різноманіття, але це поняття насправді є ширшим. Воно включає різноманіття організмів у межах виду, різноманіття й розподіл самих видів в екосистемах і біосфері та навіть різноманіття екосистем.

Біорізноманіття є головною цінністю біосфери. Річ у тім, що стабільність екосистем і біосфери в цілому залежить від нього. До прикладу, в екосистемах із низьким біорізноманіттям стають можливими неконтрольовані зростання чисельності шкідників чи паразитів, витіснення одним видом інших тощо. А чим меншим буде екосистемне різноманіття біосфери, тим яскравіше проявлятимуться стихійні лиха, посухи, урагани тощо. Завдяки живій речовині в біосфері відбуваються колообіги хімічних елементів. У разі зменшення біорізноманіття вони можуть бути суттєво порушені. Тому, якщо ми хочемо, щоб біосфера існувала й надалі, ми повинні охороняти біорізноманіття.

Темпи зменшення біорізноманіття значно пришвидшились через діяльність людини

Масове вимирання видів є природним процесом. Наприклад, під час масового пермського вимирання (252 млн років тому) з лиця Землі зникло 95 % видів живих організмів! Однак нормальний темп зникнення видів у періоди між вимиранням складає один вид на 10 років. Зі зростанням чисельності людського населення темп пришвидшувався: у XVII – XIX ст. зникало два-три види на десятиліття, нині ж темп вимирання оцінюють у десятки або навіть сотні видів за той же період! Якщо так буде й надалі, то за 50 років зникне половина



приматів і чверть усіх птахів! Журналістка Елізабет Колберт, лауреатка Пулітцерівської премії, у 2014 році опублікувала книгу з дуже влучною назвою «Шпесте вимирання: неприродна історія»¹, у якій у науково-популярному стилі проілюструвала негативні впливи людини на живий світ. І ця назва гарно наголошує на тому, що відбувається, бо сьогоднішня швидкість зменшення біорізноманіття нагадує таку в періоди масових вимирань минулого. За даними Міжнародного союзу охорони природи під загрозою зникнення перебуває майже третина видів тварин і 70 % видів рослин (рис. 27.1). І чи існуватимуть ці організми на Землі надалі залежить від наших дій.

Унаслідок руйнування місць проживання зникають цілі екосистеми

Оскільки організми та їхні спільноти пристосувалися до специфічних умов свого середовища, то зі зміною чи його зникненням вони також вимиратимуть. Вирубання лісів, перетворення степів на поля й пасовища, розбудова портів, збільшення площ міст — усе це відбувається шляхом перетворення природних екосистем у штучні. Наразі площа лісу в світі скоротилася на 40 % порівняно з доіндустріальною епохою, а сільськогосподарські землі займають третину суходолу Землі. В Україні щороку вирубують близько 1 % всіх лісів, а його відновлення на місці вирубки займає, як мінімум, кілька десятків років (рис. 27.2), тож дерев стає все менше. Через діяльність людини території природних екосистем розділяються на фрагменти полями, дорогами, каналами, риболовецькими сітками, унаслідок чого виникають відокремлені дрібні нестійкі біоценози. Значні площі, зайняті звалищами відходів промисловості й побуту, більше не можуть бути домівкою диких тварин. Унаслідок такого винищення місць проживання гинуть не лише окремі популяції чи види, а зникають цілі екосистеми.

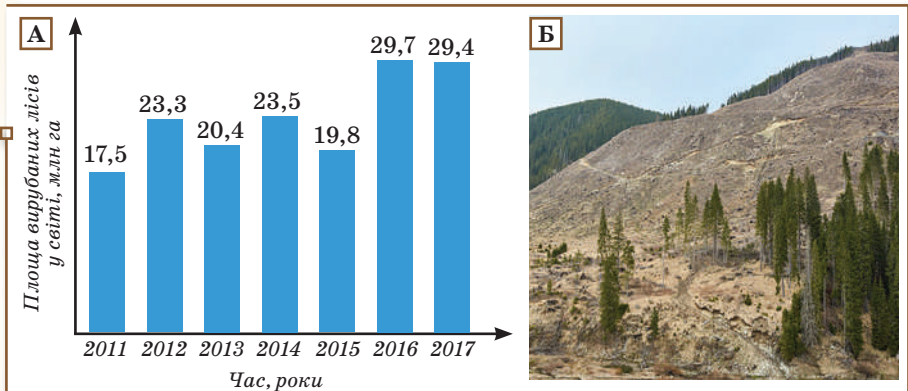


Рис. 27.2. Вирубка лісу

А. Темпи зменшення площі лісів у світі. Б. «Голий» схил карпатської гори із вирубкою.

¹ Дотепер в історії Землі було п'ять масових вимирань, що мали природні причини, на відміну від сучасного різкого зменшення біорізноманіття внаслідок діяльності людини.

Стабільність природних екосистем порушується внаслідок появи інвазійних видів

Досить часто людська діяльність є причиною занесення нових видів, нехарактерних для екосистем певного регіону — видів-вселенців, або інтродуцентів¹. Зазвичай вони освоюють вільні ніші в природних екосистемах, але їхня поява може посилювати конкуренцію, що негативно впливатиме на чисельність особин інших популяцій. Зрештою, через коливання абіотичних умов вид-інтродуцент може повністю витіснити вид, що існував у екосистемі здавна. Якщо такі локальні «перемоги» стають постійними, чисельність та ареал вида-вселенця зростають і природні вороги не здатні стримати його поширення, то він стає загрозою для місцевого біорізноманіття й перетворюється на інвазійний вид². Окрім колорадського жука й борщівника, про яких ішлося у § 23, в Україні нараховують ще більше сотні інвазійних видів рослин і тварин. Найрозповсюдженішими є амброзія полинолиста, клен ясенolistий, іспанський слиз'як, рапана, сірий пацюк, сріблястий карась (рис. 27.3). Класичним зразком інвазії є масове розмноження кролів у Австралії у XIX–XX ст., що спричинило виїдання рослин лукових екосистем, вимирання видів, поширених лише на цьому континенті, пришвидшення ерозії ґрунтів і завдало значних збитків традиційному вівчарству. За відсутності природних хижаків, із навалом кроликів мусили боротися люди шляхом масового відстрілу, побудови парканів, зараженням тварин вірусами.

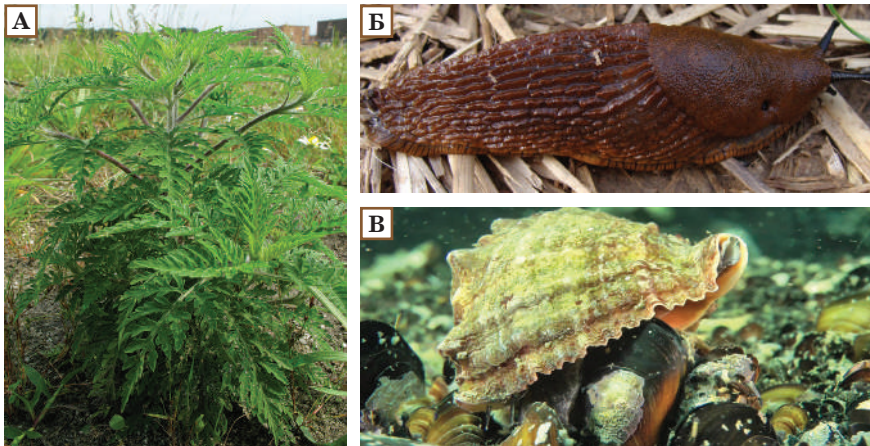


Рис. 27.3. Інвазійні види

А. Амброзія полинолиста, батьківщиною якої є Північна Америка, розростається на узбіччі доріг, на пасовищах і пустирях та утворює пилок, що є потужним алергеном. **Б.** Іспанський слиз'як заповнив Західну Україну й активно почав винищувати городину. **В.** Прожерливий молюск-хижак рапана значно скоротив популяції устриць і мідій у Чорному морі, куди потрапив із кораблями з Далекого Сходу.

¹ Від лат. *introducio* — уведення.

² Від лат. *invasio* — нашествя, напад.

Види-інтродуценти збільшують біорізноманіття

Але далеко не завжди новий вид, занесений на чужорідну для нього територію, стає інвазійним. Наприклад, у Європі близько 15 % усього видового біорізноманіття представлено видами-вселенцями. Якщо чисельність і поширення виду-інтродуценту контролюється природними механізмами, то він може тривалий час існувати в екосистемах, збільшуючи їхні біорізноманіття й стійкість. Для цього виду потрібно **акліматизуватися** — пристосуватися до нових умов середовища в межах своєї модифікаційної мінливості¹. Під час акліматизації в організмі змінюються процеси життєдіяльності під впливом внутрішніх регуляторних механізмів. У такого пристосування є генетично зумовлені межі — організм не може акліматизуватися до умов, що знаходяться поза його діапазоном толерантності. Тобто теплолюбна рослина не житиме в холоді, а вологолюбна — у посушливих умовах. Окрім цього, акліматизація — це повільний процес й організми не можуть миттєво пристосуватися до нових умов проживання.

Найчастіше інтродукція є штучним процесом, коли людина свідомо чи ні заносить нові види. Часто це робиться задля розведення й отримання харчів. Із цією метою в нас акліматизовано картоплю, помідори, соняшник, кукурудзу, фазанів, коропів, товстолобів, плямистих оленів. Подекуди організми інтродують із декоративною метою — так в Україні з'явилися кінський каштан і туя.

Час від часу люди здійснюють **реінтродукцію** — повернення видів на територію, на якій вони з певних причин зникли. У такому випадку організми повинні **реакліматизуватися** — знову пристосуватися (акліматизуватися) до колишніх умов існування. Найчастіше реінтродукція здійснюється для відновлення видів, що зникли чи зникають і підтримки сталості природних екосистем. Проблемою реакліматизації є те, що організми могли втратити навички життя в природному середовищі, якщо вони тривалий час жили в неволі. Тому цей процес потребує ретельного контролю й поступовості. В Україні реінтродукції зазнали, наприклад, зубр і польський коник (нащадок вимерлого тарпана) — вони були поселені в природоохоронні зони із зоопарків і приватних господарств (рис. 27.4).



А



Б

Рис. 27.4. Реінтродуковані тварини

А. Зубр. Б. Польський коник.

¹ Не варто плутати адаптацію — пристосування до умов середовища, що успадковується, й акліматизацію — пристосування без зміни генотипу.

Причиною природної інтродукції може бути зміна клімату. Так, наприклад, через зростання температури води океанічні риби мігрують із перегрітих тропічних ділянок у більш холодні північні. Така міграція не оминула й живий світ України. Через зростання температури кліматичні зони змістилися на північ: болота Полісся майже повністю опинилися в Білорусі, степ укриває тепер лани в Черкаській і Полтавській областях, а Південь України нагадує субтропічну напівпустелю. У Херсонській, Миколаївській та Одеській областях нині вже можна вирощувати теплолюбні нут і арахіс, а інтродукований сорго росте не гірше, ніж у Ефіопії, з якої походить. Разом із південними культурами до України мігрував і південний шкідник — кукурудзяний жук, що жив до цього в Італії та на Балканах. Павуки каракурти поширилися від узбережжя Азовського моря на північ і тепер зустрічаються на Черкащині, Вінниччині й навіть Полтавщині.

Забруднення й глобальне потепління спричиняють скорочення популяцій і вимирання видів

Через високі рівні забруднення спостерігається значне зменшення біорізноманіття. Поява «мертвих зон» у водоймах унаслідок евтрофікації, забруднення пестицидами, важкими металами, органічними розчинниками й отрутохімікатами, підвищення кислотності води й ґрунту через кислотні опади — усе це суттєво погіршує умови існування організмів, робить їх більш вразливими до інфекцій і паразитів, спричиняє хвороби, знижує опірність змінам у довкіллі. Деякі пестициди можуть передаватися харчовими ланцюгами, через що великі кількості їх накопичуються в тілах кінцевих консументів, стаючи причиною отруєння, хвороб і смерті. Забруднення середовища антибіотиками спричиняє збільшення стійкості до них бактерій (про це йшлося в § 4). Викиди парникових газів спричиняють глобальне потепління й зміни клімату, які багато організмів не зможуть пережити (рис. 27.5).

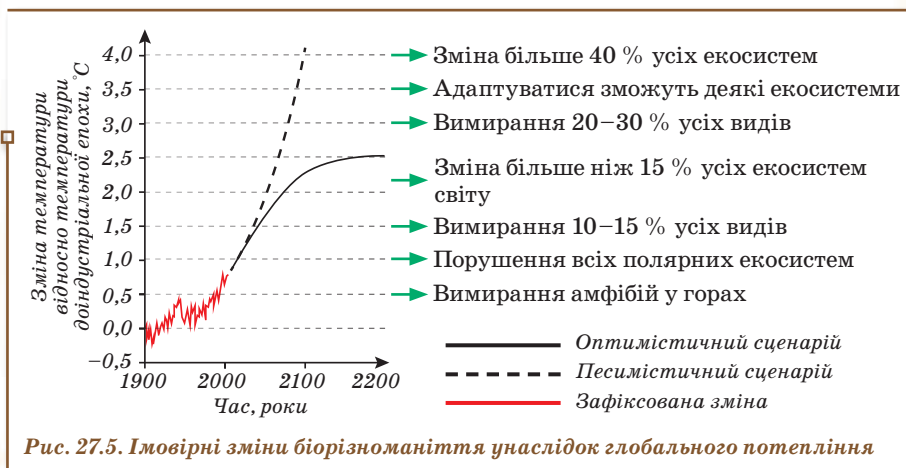


Рис. 27.5. Імовірні зміни біорізноманіття унаслідок глобального потепління

Для задоволення людських потреб винищуються надмірні кількості живих істот

Оскільки частина продуктів харчування виробляється із добутих у дикій природі об'єктів, то зі зростанням чисельності людства масштаби винищення живого також збільшуються. Майже три чверті всіх комерційних видів риб виловлюються в надмірній кількості і не встигають відновлювати свою чисельність. Через це кількість представників окремих видів скоротилася в понад 10 разів! Якщо темпи вилову не зменшаться, то 90 % усіх рибних запасів Землі буде вичерпано за наступні 50 років. Екосистеми Африки, для яких характерне найбільше видове різноманіття, страждають від непомірного винищення диких тварин, м'ясо яких є чи не єдиним джерелом білка для зубожілого населення країн. Навіть заборона полювання не зупиняє браконьєрів, особливо коли мова йде про природні продукти, які дорого можна продати (рис. 27.6, А). Народна медицина й кухня багатьох країн стимулюють винищення навіть рідкісних видів тварин, і лише для задоволення непомірних бажань людей. Так, у китайській кухні надзвичайно смачною і урочистою стравою є суп з акулячих плавців. Після внесення цієї страви в меню тисяч ресторанів світу акулячий промисел набув непомірних масштабів. Унаслідок тисячі особин цих риб гинуть заради десятихвилинної усяди смакових рецепторів гурманів (рис. 27.6, Б). Збір диких рослин (як-от орхідей) і виловлення тварин (папуг, риб, змій, черепах) та їх експорт як домашніх улюбленців має гігантські масштаби. Водночас більше половини організмів гине під час транспортування. І, на жаль, нерозуміння наслідків задоволення своїх бажань продовжує стимулювати загибель мільйонів живих істот (рис. 27.6, В). І ми в змозі змінити думку оточення щодо цієї проблеми! Для цього потрібно якнайширше поширювати інформацію про це: обговорювати з друзями, робити репортажі в ЗМІ, доповнювати подібними темами освітні програми різних рівнів.



Рис. 27.6. Тварини, що страждають від браконьєрства

А. Носоріг, убитий браконьєрами із метою вилучення в нього рогу. Б. Щороку під час добування акулячих плавців для приготування супу виловлюють 30–70 млн особин риб і викидають їх іще живі, але вже нездатні до руху скривавлені тіла назад до води. В. Мільйони особин диких хутряних тварин убивають для виготовлення зимового одягу.

Віра в традиції й бажання поласувати делікатесом коштує життя рідкісним тваринам



Рис. А. Один із півсотні останніх на планеті яванських носорогів.



Рис. Б. Тіла мертвих акул із відрізнаними плавцями.

Народна медицина є популярним способом лікування в багатьох країнах Азії. Але її ефективність, порівняно із доказовою медициною, є значно нижчою. До того ж часто лікувальні суміші виготовляють із частин тіла рідкісних тварин. Так, наприклад, порошок із рогу носорога вважають ефективним засобом боротьби з гарячкою, судомами, потужним афродизіаком і протиотрутою. Ціна кілограма рогу найрідкіснішого яванського носорога (на Землі лишилося 40–60 особин цього виду, *рис. А*) може сягати 30 тис. доларів США. Тому його вбивство часто є найшвидшим шляхом збагачення для бідного населення країн Південно-Східної Азії. Утім хімічний аналіз не виявив жодних біологічно активних інгредієнтів у складі рогу.

Схожа доля спіткала й тигрів і леопардів. Якщо ще 30–40 років тому браконьєри полювали за шкурами цих тварин, то тепер цілителям потрібні їхні кістки, які нібито лікують від болю в кістках. Ведмедів убивають заради добування з їхніх тіл жовчних міхурів, компоненти яких полегшують запалення і знищують бактерій. І це не зважаючи на те, що активні речовини ведмежої жовчі давно синтезовано штучно. Кишківник і шкіра гігантських саламандр, оленячі роги, геніталії собак використовуються в традиційній китайській медицині. Й оскільки обсяги чорного ринку цих продуктів відомі лише приблизно, то й складно оцінити масштаби негативного впливу на біорізноманіття такого «медичного» браконьєрства. Також часто необроблені продукти народної медицини, отримані з мертвих тіл диких тварин, самі є причиною смертельних кишкових інфекцій.

Не меншої шкоди тваринному світові завдає винищення диких тварин заради їжі. Так, зелену, кайманову, грифову й далекосхідну черепах використовують для приготування делікатесного супу, який, як уважають, тонізує статеві функції. У такий же спосіб заради супу з акулячих плавців виловлюють навіть найбільших китову й гігантську акул, чиї плавці коштують до 20 тис. доларів США за кілограм! І численні види диких змій, крокодилів, амфібій і риб неконтрольовано винищуються лише через делікатесний статус страв, приготованих із них.

Елементарно про життя

■ 1. Сучасне зменшення біорізноманіття називають «шостим вимиранням» через те, що

А темп загибелі видів у шість разів більший, ніж у період попереднього вимирання

Б швидкість вимирання видів така сама, як і під час попередніх вимирань

В причиною вимирання є шостий компонент біосфери — людина

Г під загрозою зникнення знаходиться кожен шостий вид на планеті

■ 2. Заповніть пропуски в реченні про інтродукцію.

Під час інтродукції організми (1) й займають (2) в екосистемі.

А 1 – акліматизуються, 2 – увесь трофічний рівень

Б 1 – реакліматизуються, 2 – місце іншої популяції

В 1 – акліматизуються, 2 – вільну екологічну нішу

Г 1 – реакліматизуються, 2 – не менше половини біотопу

■ 3. Наслідком забруднення середовища пестицидами НЕ є

А почастішання паразитарних інфекцій

Б збільшення частоти появи злоякісних пухлин

В погіршення можливостей акліматизації

Г посилення міжвидової конкуренції

■ 4. Щоб зменшити надмірне винищення тварин, потрібно

А дозволити полювання на рідкісних тварин

Б стимулювати проведення освітніх заходів на цю тему

В збільшити штрафи за завезення інвазійних видів рослин

Г посилити контроль над нелегальною торгівлею цуценятами

■ 5. У відповідність тип впливу на біорізноманіття із наслідком діяльності людини.

- | | |
|--|--|
| 1 руйнування місць проживання організмів | А закислення ґрунту |
| 2 занесення видів-інтродуцентів | Б розвиток екосистеми на застиглій вулканічній лаві |
| 3 забруднення біотопу | В витіснення аборигенних видів інвазійним видом |
| 4 надмірне винищення організмів | Г браконьєрство |
| | Д прокладання залізниці через ліс |

У житті все просто

■ 6. Поясніть, чому консументи вищих порядків більше страждають від пестицидів, що передаються харчовими ланцюгами, ніж консументи нижчих рівнів.

■ 7. Узагальніть антропогенні зміни біорізноманіття України у вигляді мапи думок (її можна зробити на комп'ютері чи плакаті).



У житті не все просто

■ 8. Які вигоди людство отримує від біорізноманіття? Що ми втратимо через його зменшення?

Оцінка екологічного стану свого регіону

Мета: навчитися аналізувати окремі параметри антропогенного впливу на екологічний стан свого регіону, визначати його для своєї області.

Хід роботи

■ 1. Проаналізуйте таблиці, наведені на с. 183, що характеризують деякі параметри антропогенного впливу на екологічний стан окремих областей України (дані за 2015 рік, без урахування тимчасово окупованих територій).

■ 2. Для кожного параметра, що характеризує середнє значення чи вираженого у відсотках, заповніть порівняльну таблицю.

- Для розрахунку різниці між значенням параметра для вашої області та України загалом використайте формулу:

$$\text{Різниця, \%} = \frac{\text{Значення параметра України чи іншої області} - \text{Значення параметра вашої області}}{\text{Значення параметра вашої області}}$$

Тут має бути назва параметра			
Характеристика адміністративної одиниці	Назва адміністративної одиниці	Значення параметра з таблиці	Різниця зі значенням вашої області, %
Ваша область			
Україна загалом	Україна		
Область із мінімальним значенням			
Область із максимальним значенням			

■ 3. Для кожного параметра, вираженого у м³ чи т, заповніть порівняльну таблицю.

- Для розрахунку внеску вашої області в загальнодержавне значення параметра використайте формулу: $\text{Внесок, \%} = \frac{\text{Значення параметра вашої області}}{\text{Значення параметра України загалом}}$
- Для розрахунку різниці між значеннями параметра для вашої області та областей із мінімальним і максимальним значеннями використайте формулу:

$$\text{Різниця, \%} = \frac{\text{Значення параметра іншої області} - \text{Значення параметра вашої області}}{\text{Значення параметра вашої області}}$$

Тут має бути назва параметра			
Характеристика адміністративної одиниці	Назва адміністративної одиниці	Значення параметра з таблиці	Різниця зі значенням вашої області чи загальнодержавний внесок, %
Ваша область			
Україна загалом	Україна		
Область із мінімальним значенням			
Область із максимальним значенням			

■ 4. Скориставшись додатковою інформацією, схарактеризуйте основні джерела забруднення у вашій області.

■ 5. Зробіть висновки про екологічний стан довкілля у вашій області, базуючись на порівняннях та аналізі місцевих джерел забруднення.

Таблиця 1. Деякі параметри впливу на атмосферу й гідросферу в розрізі областей

Адміністративна одиниця	Вплив на атмосферу		Вплив на гідросферу	
	Середня кількість атмосферних викидів одним підприємством, кг	Кількість викидів у атмосферу від транспорту у поверхневі водойми, і техніки, т	Об'єм складання стічних вод потрапляють у водойми зі стічними водами, т	Кількість фосфатів, що потрапляють у водойми
Україна	252,8	188693,0	5343	4382,0
АР Крим	<i>достовірні дані відсутні</i>			
Вінницька обл.	285,4	9336,0	64	49,8
Волинська обл.	18,4	3499,6	33	97,9
Дніпропетровська обл.	1011,0	19940,3	683	604,2
Донецька обл.	1737,9	5846,3	844	467,5
Житомирська обл.	12,9	5049,2	68	125,2
Закарпатська обл.	20,6	1074,5	31	78,3
Запорізька обл.	317,0	10549,6	931	292,4
Івано-Франківська обл.	670,4	1983,9	58	102,5
Київська обл.	150,8	8094,1	667	70,6
Кіровоградська обл.	42,7	8137,4	29	96,2
Луганська обл.	429,7	3894,4	82	82,9
Львівська обл.	148,0	4919,7	208	217,8
Миколаївська обл.	40,6	9279,2	74	44,2
Одеська обл.	45,6	14607,8	176	471,9
Полтавська обл.	85,4	17654,9	69	126,6
Рівненська обл.	39,8	3464,4	59	162,2
Сумська обл.	52,5	5573,1	46	93,7
Тернопільська обл.	19,7	4616,2	30	96,3
Харківська обл.	79,2	10528,9	288	640,4
Херсонська обл.	19,8	4728,6	69	48,8
Хмельницька обл.	44,8	8632,1	40	84,3
Черкаська обл.	117,0	8644,7	106	116,6
Чернівецька обл.	20,5	2075,8	39	2,8
Чернігівська обл.	69,9	5936,8	78	96,8
м. Київ	72,7	10655,5	571	112,1
м. Севастополь	<i>достовірні дані відсутні</i>			

Таблиця 2. Деякі параметри впливу на літосферу й біосферу в розрізі областей

Адміністративна одиниця	Вплив на літосферу		Вплив на біосферу
	Частка площі розораної землі від площі адміністративної одиниці, %	Кількість відходів, тис. т	
Україна	53,9	312267,6	6,3
АР Крим	47,6	—	8,41
Вінницька обл.	65,1	1950,3	2,24
Волинська обл.	33,4	638,9	11,11
Дніпропетровська обл.	66,6	227076,8	3,4
Донецька обл.	62,3	16877,5	3,51
Житомирська обл.	37,3	518,3	4,58
Закарпатська обл.	15,7	133,7	14
Запорізька обл.	71,8	5463,3	4,58
Івано-Франківська обл.	28,5	2124,8	15,71
Київська обл.	46,8	1660,5	4,04
Кіровоградська обл.	71,8	33344,7	4,04
Луганська обл.	28,5	2548,4	8,41
Львівська обл.	46,8	2953,3	3,46
Миколаївська обл.	71,8	2306,1	7,13
Одеська обл.	47,8	602,6	3,07
Полтавська обл.	36,4	4431,7	4,53
Рівненська обл.	69,1	843,3	4,95
Сумська обл.	62,3	840,0	8,84
Тернопільська обл.	61,7	808,9	7,4
Харківська обл.	32,8	1711,4	8,88
Херсонська обл.	51,5	417,3	2,36
Хмельницька обл.	62,0	960,9	10,6
Черкаська обл.	61,5	1179,2	15,15
Чернівецька обл.	40,9	398,1	3,02
Чернігівська обл.	44,5	867,3	12,8
м. Київ	—	1610,3	21
м. Севастополь	—	—	30,27

§ 28. Концепція сталого розвитку



Якість довкілля є характеристикою його екологічної врівноваженості

Усі проблеми й негаразди, викликані антропоїчним (антропогенним) впливом на природу, про які детально йшлося в попередніх параграфах, є причиною зниження якості довкілля. **Якість природного середовища** — це загальна характеристика, що описує стан природних і видозмінених людиною екосистем, з огляду на їхню відповідність потребам організмів і людей. Згідно із цим поняттям якісним є те довкілля, у якому не порушено екологічний баланс природних процесів, відбувається колообіг речовин і життя продовжує відтворюватися. При цьому, щоб якість навколишнього середовища не знижувалася, вплив людини повинен бути врівноваженим із можливостями природи до відновлення. І мова йде не тільки про рівень забруднення чи зміни довкілля, але й про вичерпання **природних ресурсів** — компонентів навколишнього середовища, що використовуються живими істотами й людиною для задоволення власних потреб. І цих ресурсів має вистачати як сьогодні, так і в майбутньому.

Принципи раціонального природокористування орієнтують людську діяльність на екологічно безпечну взаємодію з довкіллям

Для того, щоб якість довкілля не погіршувалася у взаємодії із природою, людство повинне керуватися принципами раціонального природокористування. **Раціональне природокористування** — це така експлуатація природних ресурсів, що забезпечує максимально повне їх використання при найменшій шкоді для довкілля й створення умов для їхнього відновлення. При цьому повинні забезпечуватися умови для існування людини й отримання потрібних людству продуктів. Згідно з принципами раціонального природокористування навантаження на природу з боку людини повинно бути врівноваженим із відновним потенціалом середовища, а структура екосистем і колообіг речовин у них не має страждати. Бажано також, щоб технологічні процеси вивільняли до середовища відходи в мінімальних кількостях і в такому вигляді, який розповсюджений у довкіллі. Тоді екосистеми будуть спроможні їх ефективно утилізувати. Ну й зрештою, природокористування повинне орієнтуватися на довгострокову перспективу, бо часто короточасні успіхи можуть мати відтерміновані негативні наслідки.

Сталий розвиток покликаний зберегти природні ресурси для майбутніх поколінь

Розуміння обмеженості природних ресурсів Землі й майбутніх негативних наслідків споживацького ставлення до природи слугувало стимулом для пошуку шляхів збалансування розвитку людства й екологічного навантаження на природу. Після публікації у 1972 році дослідження Римського клубу¹ «Межі

¹Це неурядове міжнародне об'єднання дослідників і дослідниць, які займаються вивченням глобальних проблем людства і шляхів їх попередження та подолання.

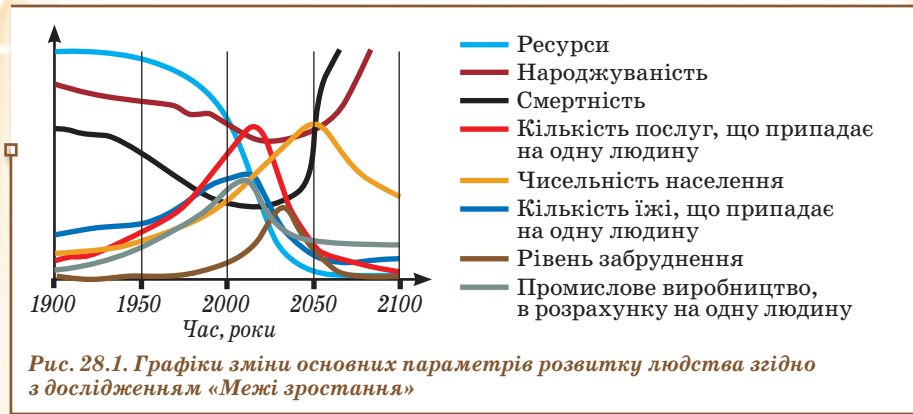


Рис. 28.1. Графіки зміни основних параметрів розвитку людства згідно з дослідженням «Межі зростання»

зростання» стало зрозуміло, що взаємини між природою й суспільством найближчим часом не зміняться, то людство чекає межа розвитку. При її досягненні унаслідок погіршення природних умов і вичерпання ресурсів різко зросте смертність, і чисельність людства швидкими темпами почне зменшуватися (рис. 28.1).

Щоб уникнути такого сценарію розвитку подій, нам потрібно змінити ставлення до природних ресурсів, підвищити їхню цінність у суспільній свідомості, бо саме від них залежить те, як ми живемо зараз і житимемо в майбутньому. Пошуки оптимального шляху вирішення проблеми межі зростання стали основою концепції **сталого розвитку** — такого, що задовольняє потреби сучасного покоління й не позбавляє наступні можливості задовольнити власні потреби. Сталий розвиток ґрунтується на зміні екологічної, економічної й соціальної сфер людського життя таким чином, щоб ресурси витрачалися більш ефективно, а негативний вплив на довкілля зменшувався. І завдяки впровадженню цих ідей уже вдалося сповільнити темпи виснаження природних ресурсів. Від 1 січня 2016 року набули чинності нові 17 цілей «Порядку денного



Рис. 28.2. Цілі сталого розвитку до 2030 року

в галузі сталого розвитку на період до 2030 року», втілення яких потребує розуміння й активної участі як покоління авторського колективу цього підручника, так і покоління його читачів і читачок (рис. 28.2). І наша держава також намагається впроваджувати відповідні зміни у своєму розвитку.



Існують різноманітні шляхи зменшення виснаження ґрунтів

Надалі ми звернемо більшу увагу на досягнення тих цілей, що безпосередньо стосуються екологічної ситуації й про розв'язання яких детально не йшлося в попередніх параграфах. Однак, варто розуміти, що реалізація всіх цілей сталого розвитку повинна сприяти зменшенню негативної антропоїчної дії на довкілля.

Ціллю сталого розвитку № 2 є подолання голоду, для чого необхідно підвищити продуктивність сільського господарства, але при цьому зберегти природні екосистеми й сприяти покращенню якості земель. Ціль № 15 закликає боротися із надмірним вирубуванням лісів, деградацією ґрунтів і опустелюванням. Цього можна досягти завдяки збільшенню продуктивності господарств і зменшенню ерозії ґрунту, при цьому темпи перетворення природних екосистем на агроекосистеми повинні значно сповільнитися. Такі зміни можуть бути досягнені завдяки впровадженню інноваційних технологій, використанню більш досконалої техніки та покращених сортів і порід.

Одним зі шляхів зменшення виснаження ґрунтів (дегуміфікації) є впровадження органічного фермерства — ведення рослинництва чи тваринництва без використання пестицидів, штучних добрив, гормонів і антибіотиків, генетично модифікованих організмів. Однак його продуктивність є нижчою, порівняно з традиційним агровиробництвом, а тому ціна «органічних» продуктів є вищою за ціну звичайних. Використання відповідних кількостей мінеральних добрив, а також унесення органічних добрив (торф, перегній) дозволяє значно зменшити забруднення ґрунтів і вод. Для скорочення вичерпання ґрунтових ресурсів, запобігання розмноженню шкідників активно використовують сівозміну (дивись § 26) і полікультуру, коли на одному полі одночасно вирощують різні рослини (рис. 28.3).

А от замінити пестициди в боротьбі зі шкідниками складніше. Для перемоги над бур'янами замість гербіцидів¹ можна застосовувати механічну обробку (пропльовання), проте вона пришвидшує ерозію. Продуктивним шляхом боротьби є сприяння поширенню природних ворогів і шкідників. Для цього вздовж полів роблять захисні посадки, викопують вод'яні канали, поля заселяють хижачками,

¹ Від лат. *herba* — трава і *caedo* — убиваю.



Рис. 28.3. Подвійна культура гарбуза й кукурудзи

що поїдають рослиноїдів, чи комахами, що живляться бур'янами. Останнім часом більш популярними стають генетично модифіковані організми (докладніше про них ітиметься у § 42), що ростуть швидше й мають кращу стійкість до несприятливих умов і шкідників. Інші біологічні методи, як-от стерилізація шкідників, використання патогенних для шкідників вірусів і бактерій також сприяють зменшенню використання отрутохімікатів, при цьому не завдаючи шкоди природі.

Водовитрати на виробництві та в побуті цілком можливо зменшити

Серед завдань, які потрібно виконати для досягнення цілі сталого розвитку № 6, є зменшення обсягів скидання неочищених стічних вод і підвищення ефективності водокористування.

Зрозуміло, що прямим шляхом зменшення кількості забруднених стічних вод є їхнє ефективне очищення, активними учасниками якого можуть бути й живі організми (рис. 28.4). Очищення також



Рис. 28.4. Очищення води, забрудненої під час роботи сховища нафтопродуктів, здійснюється завдяки рослинам

дозволяє повернути до вжитку речовини, що зазвичай викидаються зі стічними водами (солі, йони металів, органічні розчинники), завдяки чому зменшується видобування природних ресурсів, потрібних для їхньої заміни.

Підвищення ефективності водокористування може досягатися змінами як у галузі виробництва, так і в побуті (про це вже йшлося у § 25). Для заводів і фабрик актуальним є впровадження менш водоемних виробничих ліній, повітряного охолодження замість водяного, повторного вжитку води. В аграрному виробництві повинні використовуватися сорти й породи, що пристосовані для зменшеного вживання води, економне зрошування, накривання землі (плівкою, дерев'яними ошурками, листям) для зменшення випаровування тощо. Не менш ефективною є й економія води в побуті: скорочення часу прийому душу, закривання води під час намилювання чи чищення зубів, рідше миття автомобілів, водоекономне прання, підтримання сантехніки у справному стані тощо. Ці навички мають стати такими, до яких привчають із дитинства.

Використання відновлюваних джерел енергії може сприяти зменшенню викидів вуглекислого газу

Оскільки спалювання викопного палива для отримання енергії є одним із найпотужніших джерел викидів CO_2 , то одним із завдань для досягнення цілей сталого розвитку № 7 і № 13 є збільшення частки енергії з відновлюваних джерел. Відновлювані джерела енергії — це природні джерела, що протягом тривалого часу не вичерпуються (енергія Сонця, гідроенергія, вітрова енергія, геотермальна енергія) або швидко відновлюються (енергія біомаси). Завдяки вико-

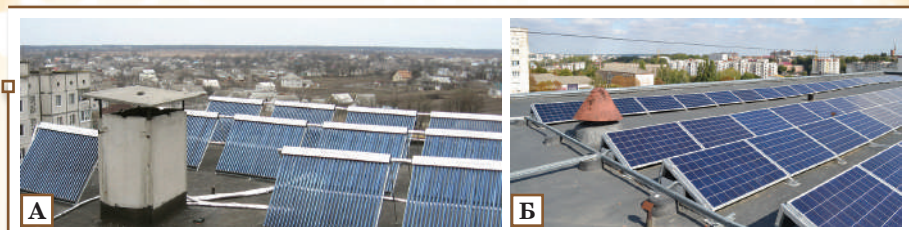


Рис. 28.5. Сонячні колектори (А) і сонячні батареї (Б) на даху багатопверхівок

ристанню сонячних колекторів і сонячних батарей вдається обігрівати й отримувати електроенергію від безкоштовного джерела — Сонця. Такі рішення недорогі й швидко окупаються (за 3–5 років), легко встановлюються й обслуговуються, завдяки чому набули популярності серед населення (рис. 28.5). Ба більше, кількість сонячних електростанцій в Україні продовжує зростати, і влада підтримує цей поступ.

Гідроенергетика є джерелом 8% усієї електроенергії в Україні. Утім побудова гребель гідроелектростанцій значно змінює водний режим регіону, спричиняє затоплення величезних територій і розриває ареали водних видів на окремі частини, тому не може вважатися екологічно безпечною.

Будувати вітряні електростанції має сенс у передгір'ї та на берегах морів. Їхня зручність полягає в малій площі території, що потрібна для встановлення, а також значній автономності й невибагливості в обслуговуванні. Але недоліком є те, що окремий вітряк генерує мало енергії. Крім того, він може заважати міграції птахів, що б'ються об лопаті гвинтів під час польоту, і створювати шумове забруднення при обертанні.

Спалювання рослинної біомаси (наприклад, деревини) є доступним джерелом енергії для всіх верств населення, особливо в лісових регіонах. Однак вирубування лісів повинне обов'язково компенсуватися більшою за масштабом посадкою дерев. Інакше вміст вуглекислого газу в атмосфері внаслідок горіння біомаси невпинно зростатиме. Крім того, не варто забувати про можливість використання відходів для продукування біогазу (рис. 28.6).

Паралельно із переходом на відновлювані джерела енергії, потрібним є й упровадження екологічних видів транспорту. Використання громадського й особистого електротранспорту, їзда на велосипедах містом, застосування водню як пального сприяють зменшенню рівня забруднення повітря, а також суттєво зменшують кількість вуглекислого газу, що вивільняється до атмосфери.



Рис. 28.6. Міська біогазова станція в Індії

Для отримання біогазу (метану) використовуються органічні рештки, зброджування яких дає змогу утилізувати частину побутових відходів.

Як не досягнути межі зростання?

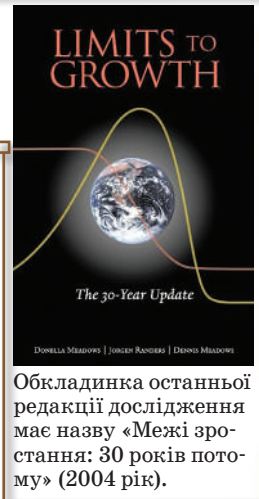
Оскільки ресурси нашої планети обмежені, то виникло питання — коли людська цивілізація досягне межі демографічного й економічного зростання. Завдяки роботі Донелли й Денніса Медоуз, Йоргена Рандерса та інших було створено математичну модель «World3». Вона містила важливі параметри, як-от: вироблення продовольства, розвиток промисловості, ріст населення, рівень забруднення й кількість невідновлюваних ресурсів. Автори поєднали ці параметри за допомогою 16-ти диференційних рівнянь із більш ніж 30-ма змінними й коефіцієнтами. Варіюючи останні, у 1972 році було розроблено 12 гіпотетичних сценаріїв розвитку людства, які було описано в доповіді Римського клубу «Межі зростання».

П'ять із дванадцяти сценаріїв були песимістичними: відповідно до них на людство очікував пік чисельності у середині XXI ст. на рівні 10–12 млрд і наступне різке скорочення населення до 1–3 млрд зі зниженням рівня життя. До цієї групи сценаріїв належав і базовий — «якщо не робити нічого». Хоча жоден із песимістичних сценаріїв не прогнозував повне вимирання людства.

Решта сім сценаріїв були більш-менш сприятливими. Найкращим планом розвитку подій було визначено сценарій активного обмеження народжуваності (на рівні смертності 1975 року), обмеження капітальних інвестицій і контролю за забрудненнями. При цьому сприятливий сценарій, який найлегше реалізувати, полягав у «м'якому» обмеженні народжуваності. Автори стверджували, що чим швидше ми почнемо контролювати ріст населення, то більші матимемо шанси уникнути кризи.

За 30 років у 2004 році модель було переглянуто. Виявилось, що ріст чисельності населення, використання невідновлюваних ресурсів і порушення довкілля протягом цих років відповідали прогнозованим у сценарії: «якщо не робити нічого» й час на «м'які» зміни вже втрачено. Найоптимальнішим став сценарій обмеження росту чисельності й розвитку технологій, згідно з яким не більше двох дітей повинно народжуватися в кожній родині (щоб стабілізувати населення Землі на позначці 8 млрд), потреба в невідновлюваних ресурсах має скоротитися на понад 80 %, виробництво товарів повинно бути обмежене, а сільське господарство стати ефективним і екологічним.

Значна кількість наукової спільноти критикує як самі рівняння, так і змінні та коефіцієнти, обрані для них. Але всі сходяться на думці, що сучасна цивілізація потребує змін у своєму способі існування, бо інакше ріст проблем екологічного, економічного й соціального плану буде невідворотнім, і рано чи пізно спричинить колапс виживання людей на Землі.



Обкладинка останньої редакції дослідження має назву «Межі зростання: 30 років потону» (2004 рік).

Елементарно про життя

- 1. Завдяки дотриманню принципів раціонального природокористування
- A** можливо зменшити ефективність використання природних ресурсів
- Б** якість довкілля не знижуватиметься
- В** кількість природних ресурсів, що видобуваються, буде швидко зростати
- Г** потреби людства задовольнятимуться лише частково
- 2. Для боротьби зі шкідниками найменш екологічним методом є
- A** заселення на поля природних ворогів шкідників
- Б** використання вірусів і бактерій, що нищать шкідників
- В** засадження лісосмуг уздовж полів
- Г** обробка полів отрутохімікатами
- 3. Завдяки очистці стічних вод заводів
- A** корисні речовини повертаються в природний колообіг
- Б** менше токсичних речовин використовується у виробничих процесах
- В** підвищується ефективність використання природних ресурсів
- Г** погіршується екологічний стан розташованих поряд річок
- 4. Отримання енергії шляхом спалювання біомаси сприяє
- A** зменшенню викидів вуглекислого газу до атмосфери
- Б** зменшенню спалювання викопного палива
- В** збільшенню використання атомної енергії
- Г** збільшенню площ природних екосистем
- 5. У відповідність завдання сталого розвитку й шлях його досягнення.
- | | |
|---|---|
| 1 збереження природних екосистем | A зменшення ерозії ґрунту |
| 2 підвищення ефективності водокористування | Б розвиток велоінфраструктури в містах |
| 3 зменшення обсягів скидання стічних вод | В відмова від використання генетично модифікованих культур |
| 4 зменшення кількості викидів CO ₂ | Г вчасний ремонт і заміна сантехніки для уникнення протікань |
| | Д очищення й повторне використання води на виробництві |

У житті все просто

- 6. Обґрунтуйте необхідність упровадження в Україні ідей сталого розвитку.
- 7. Проаналізуйте переваги й недоліки побудови гідроелектростанцій.
- 8. Сформулюйте кілька гасел, що ілюструють способи економії води в побуті й закликають робити це.

У житті не все просто

- 9. Доведіть, що реалізація кожної з цілей сталого розвитку, наведених на *рисунку 28.2*, сприятиме раціональному природокористуванню.
- 10. У вигляді таблиці схарактеризуйте відновлювані джерела енергії за їх енергоефективністю, витратами на впровадження та позитивним впливом на якість довкілля.

§ 29. Екологічне мислення й охорона довкілля

Для досягнення цілей сталого розвитку й збереження природи необхідно прищепити людям екологічне мислення

Реалізація дій, спрямованих на раціональне природокористування й сталий розвиток, не можливі без зміни світогляду людей. Такий підхід до життя й діяльності людини, за якого повинні враховуватися не лише особисті й суспільні інтереси, але й інтереси природи, має назву **екологічне мислення**. Людина, що екологічно мислить, цікавиться станом довкілля, впливом своїх дій, прийнятими в суспільстві переконаннями і цінностями щодо природи, а також усвідомлює залежність людської цивілізації й життя та здоров'я кожної людини від стану навколишнього середовища. Такий тип мислення передбачає зміну системи цінностей із традиційних «людина — цар природи» і «роби, що хочеш, бо після нас хоч потоп» на таку систему, у якій життя людини й стан довкілля мають приблизно рівну цінність. Тоді вся практична діяльність людини буде розглядатися крізь призму її дії на природу. Ба більше, кожна повсякденна дія — чи то похід до магазину, чи визначення часу, коли виконувати домашнє завдання — стане максимально дружньою до довкілля. Бо коли мільйони людей вестимуть природобережливий спосіб життя, то й негативний вплив людства на природу значно зменшиться. З огляду на це, дуже влучним є гасло «мисли глобально, дій локально». Тож якщо ми дійсно прагнемо ще довго жити на Землі, то екологічне мислення повинне стати основою в прийнятті будь-яких суспільних рішень в економіці, освіті, культурі й повсякденному житті.

Червона книга створена для захисту видів, яким загрожує вимирання

Одним із проявів екологічного мислення є діяльність, спрямована на максимальне збереження біорізноманіття на всіх його рівнях, що також є одним із завдань сталого розвитку. Основним шляхом збереження внутрішньовидового й видового різноманіття є створення **Червоної книги** — списку тварин і рослин, які знаходяться під загрозою вимирання. Станом на 2018 рік під загрозою зникнення в Міжнародній Червоній книзі знаходилося 26 тис. біологічних видів, що складає більше 1 % від усього описаного видового різноманіття.

Поряд із Міжнародною Червоною книгою існують національні й регіональні видання. Згідно з Червоною книгою України, виданою у 2009 році, під загрозою зникнення на території нашої країни знаходилося 542 види тварин і 826 видів рослин і грибів (*рис. 29.1*). Серед тварин це: зубр, їжак вухатий, бурий ведмідь, річкова видра, чорний лелека, орел степовий, беркут, зелена ящірка, степова гадюка, очеретяна ропуха, морський судак, лосось чорноморський, широкопалий рак, метелики верховинець Аполлон і косатець Махаон та ще п'ять сотень інших видів. Із-поміж червонокнижних рослин можна назвати кедрову сосну, тис ягідний, підсніжник, едельвейс, фіалку кримську, дзвоники карпатські.



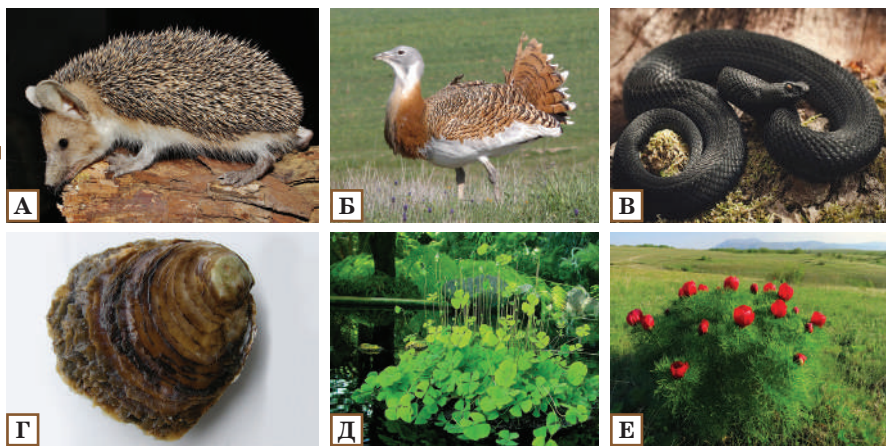


Рис. 29.1. Тварини й рослини Червоної книги України

А. Їжак вухатий. Б. Дрохва — «український страус». В. Гадюка Нікольського.
Г. Устриця європейська. Д. Марсилія чотирилиста. Е. Півонія тонколиста.

Види, що занесені до Червоної книги, не можна ані збирати, ані полювати на них, їх не можна використовувати для отримання прибутку (наприклад, продавати букетики підсніжників). За порушення вимог у галузі охорони довкілля, заподіяння шкоди видам, занесеним до Червоної книги, передбачені не тільки дисциплінарна й адміністративна відповідальність, але й кримінальна.

Для збереження біорізноманіття створюють природоохоронні території

Іншим шляхом захисту видів, а також цілих екосистем, є створення природоохоронних територій — ділянок суші чи акваторій морів і океанів, на яких обмежено господарську діяльність із метою охорони біоценозів від надмірних змін, що нею спричинені. Станом на початок 2017 року природоохоронні території світу охоплюють близько 14,8 % суходолу й континентальних водойм і 7,4 % прибережних ділянок моря та ділянок відкритого океану. Згідно із планом збереження біорізноманіття до 2020 року площа цих територій повинна бути розширена до 17 % і 10 % відповідно. В Україні налічується понад 8 тис. територій та об'єктів природно-заповідного фонду площею 3,985 млн га, що становить 6,6 % площі нашої держави. Відповідно до законодавства в Україні виокремлюють кілька видів природоохоронних територій, на яких під захистом знаходяться природні й штучні об'єкти¹.

Найбільшими за площею природними об'єктами, що охороняються, є заповідники. Їх створюють із метою збереження всіх компонентів дикої природи. У заповідниках заборонено будь-яку господарську діяльність, а їхнє відвіду-

¹ Українська система класифікації територій природно-заповідного фонду відрізняється від розробленою Міжнародним союзом охорони природи, хоча й заснована на ній.



А



Б

Рис. 29.2. Заповідники України

А. Стадо диких кабанів у Чорнобильському біосферному заповіднику.

Б. Пара лебедів на території озера в Рівненському природному заповіднику.

вання сторонніми особами є можливим лише за особливими дозволами. Найбільш значущі заповідники — **біосферні**, у яких зберігається унікальний для всієї планети комплекс живих організмів¹. На території нашої держави таких заповідників п'ять: Асканія-Нова, Чорноморський, Дунайський, Карпатський і найбільший та найновіший Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (рис. 29.2, А). **Природні заповідники**, яких налічується в Україні 19, мають загальнодержавне значення й охороняють унікальні для країни екосистеми. Найбільшими серед них є Кримський і Рівненський (рис. 29.2, Б).

У **національних природних парках** обмежується господарська діяльність, але дозволено їх туристичне й відпочинкове відвідування. Серед 43 природних парків України вражають своєю дивовижністю Синевир (Закарпатська область), Чарівна гавань (АР Крим), Тузловські лимани (Одеська область), Олешківські піски (Херсонська область) (рис. 29.3).



А



Б

Рис. 29.3. Національні природні парки України

А. Озеро Синевир — «Морське Око» Карпат.

Б. Сполохані червонокнижні рожеві пелікани в одному з Тузловських лиманів.

¹ Біосферні заповідники організуються під егідою ЮНЕСКО на основі інших заповідних територій. Рівень охорони в них такий же, як і в природних заповідниках.

Регіональні ландшафтні парки охороняють типові або унікальні природні комплекси й використовуються для організованого відпочинку населення. Тут також дозволено господарську діяльність, якщо вона не спричиняє негативної дії й не заважає відпочинку людей.

Заказники й заповідні урочища створюють із метою захисту окремих елементів екосистеми, наприклад, окремих видів тварин і рослин, місць розмноження чи відпочинку тварин. Часто в них дозволено господарську діяльність у межах, що не перешкоджають збереженню охоронного об'єкта.

Унікальні елементи природи, угруповання чи сукупності можуть охоронятися завдяки створенню **пам'яток природи**. Старе дерево, скеля, гора, печера нерідко стають охоронними об'єктами в пам'ятках природи.

Охороняються державою також об'єкти, створені штучно. Це численні ботанічні сади, зоо- і дендропарки¹, деякі **пам'ятки природи** й **пам'ятки садово-паркового мистецтва** (рис. 29.4).

На жаль, надання території природоохоронного статусу в Україні не є папачеєю від браконьєрів, несвідомих збирачів грибів і ягід, добувачів корисних копалин і матеріалів, відпочивальників і відпочивальниць. Недоліки організації, нестача коштів, небажання повноцінно виконувати свої обов'язки окремими працівниками й працівницями об'єктів природно-заповідного фонду й правоохоронних структур є основними причинами продовження руйнування природи навіть на заповідних територіях нашої держави. Поряд із цим бажання збагатитися ціною нищення природи й банальне нерозуміння наслідків своїх дій пересічними громадянами й громадянками часто зводить нанівець усі заходи зі збереження природи. Згідно зі статистикою Міжнародного союзу охорони природи стан довкілля в третині всіх природоохоронних територій світу продовжує погіршуватися навіть після початку їхнього захисту.



А



Б

Рис. 29.4. Штучно створені об'єкти природо-заповідного фонду

А. Дендропарк «Софіївка» (Умань).

Б. Палацово-парковий комплекс «Шарівка» (Харківщина).

¹ Від грец. *dendron* — дерево.

**А****Б**

Рис. 29.5. Угруповання Зеленої книги


А. Угруповання Сосни гірської.

Б. Угруповання білого латаття й водяного горіха.

Зелена книга містить відомості про рослинні угруповання, що потребують охорони

Ще одним унікальним способом охорони екосистем є створена в Україні Зелена книга — список рідкісних рослинних угруповань держави з описом їхнього стану. В останньому, третьому, виданні Зеленої книги України міститься інформація щодо 160 рослинних біоценозів, що знаходяться під загрозою зникнення чи потребують охорони (рис. 29.5). За своєю ідеєю цей список схожий на Червону книгу, але акцентує увагу не на окремих видах, а на їхній сукупності. Й оскільки рослини є основою харчових мереж екосистем, то збереження їхніх комплексів сприяє захисту всього біорізноманіття. Завдяки наявності списку рідкісних рослинних угруповань стає простіше координувати й розвивати природоохоронні заходи. Так, рослинні угруповання, занесені до Зеленої книги, включають до складу природоохоронних територій або вилучають із використання.

Незважаючи на заходи із захисту біорізноманіття, кількість видів у природі продовжує зменшуватися

На жаль, усі заходи, що вживаються для збереження біорізноманіття, все одно можуть бути марними. Через зниження якості довкілля частина видів вимирає. У останньому виданні Міжнародної Червоної книги 2008 року містився «чорний список» із 869 видів, що повністю зникли в дикій природі. Серед найбільш відомих прикладів таких видів — маврикійський дронт, стеллерова корова, мандрівний голуб, тур, тарпан, моа, безкрила гагарка (рис. 29.6). За посиланням ви можете переглянути відео із зниклими за останні два століття видами й підвидами тварин. 

Історії зникнення цих тварин вражають тим, наскільки виявляється легко довести вид до вимирання. Одним із найбільших представників унікальної фауни острова Маврикій був маврикійський дронт — нелетючий птах вагою до 20 кг. Разом із людьми на острів на початку XVI ст. потрапили свині, макаки, собаки й щури, що почали конкурувати з дронтом за обмежений рослинний харч,



Рис. 29.6. Вимерлі за останні 500 років тварини

А. Маврикійський дронт (додо). Б. Стеллерова корова. В. Мандрівний голуб.
Г. Тарпан. Д. Моа. Е. Безкрила гагарка.

розоряти його гнізда й винищувати яйця. Унаслідок цього через менш ніж 100 років популяція дронтів скоротилася настільки, що вид вимер повністю.

Стеллерова корова була великим морським ссавцем вагою від 4 до 10 т. Після відкриття виду в 1741 році за наступні три десятиліття вся невелика популяція (до 1,5 тис. особин) морських корів була винищена заради м'яса. Такому масовому винищенню тварин сприяли кілька особливостей їхньої біології. По-перше, м'ясо стеллерових корів було смачним і поживним. По-друге, ці тварини були травоядними і живилися на мілководді, не занурюючись повністю у воду. Тому «пасовище» прекрасно було видно з берега. Кінець кінцем, стеллерові корови абсолютно не боялися людей. Щороку риболови, які зимували на Комодорських островах, де й жила єдина популяція корів, убивали понад сотню тварин і в 1768 році з'їли останнього представника цього виду.

А загибель мандрівного голуба є яскравим прикладом безглузого нищення природи людьми. Через зростання площ вирубок лісу в середині XIX ст. у США та неймовірні масштаби полювання (вбивалися сотні мільйонів голубів щороку!) чисельність одного з найпоширеніших птахів Північної Америки почала різко зменшуватися. Легкість винищення мандрівних голубів (один постріл дробовика міг вбити кілька десятків голубів), популярність їхнього м'яса й пір'я, відстріл як цілей на спортивних змаганнях зі стрільби (щоб перемогти, треба було вбити 30 тис. голубів!) та просто заради розваги¹ спричинили настільки швидке скорочення чисельності, що навіть прийняті для охорони цього виду закони не змогли його врятувати. Але вимирання мандрівних голубів не було марним і стало потужним стимулом до розвитку природоохоронних заходів у США й усьому світі.

¹ Фенімор Купер чудово відтворив сцену безглуздої бійні голубів у романі «Піонери, або Біла витоків Саскуїханни».

Елементарно про життя

■ 1. У 1907 році під однією з найстарших сосен України, що росте біля міста Кременця Тернопільської області, відпочивала Леся Українка. Зараз ця сосна знаходиться в природно-заповідному фонді України в статусі

- А** заказника **Б** пам'ятки природи
В біосферного заповідника **Г** червонокнижного виду

■ 2. Зелена книга України відрізняється від Червоної тим, що

- А** до неї занесено унікальні екосистеми, а не окремі види
Б у ній схарактеризовано лише рослини, що вже вимерли
В вона описує рослинні угруповання, а не окремі види
Г у ній міститься інформація лише про рослини й гриби

■ 3. Школярі висловили свої думки про причини вимирання мандрівного голуба. Христина переконала, що голуб не загинув би, якщо б на нього не полювали. Григорій думає, що жага наживи стимулювала загибель цих тварин. Хто з учнів має рацію?

- А** лише Христина **Б** лише Григорій **В** обидвоє **Г** жоден

■ 4. Увідповідніть тип природоохоронної території з його описом.

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 біосферний заповідник | А невелике урочище, де живе велика колонія тварин одного виду |
| 2 національний природний парк | Б численна група озер, довкола яких заборонено будівництво, добування копалин, ведення сільського господарства, але дозволено відпочивати на їхніх берегах |
| 3 заказник | В невелика територія зі спеціально висадженими видами рослин, часто нехарактерними для цієї місцевості |
| 4 ботанічний сад | Г велика територія суходолу, на якій не здійснюється ніяка діяльність і рідко бувають люди |

У житті все просто

■ 5. Проілюструйте кілька прикладів учинків окремих українців і українок, що свідчать про недостатній рівень їхнього екологічного мислення. Як би могли вчинити в подібних ситуаціях громадяни й громадянки, які мислять екологічно?

■ 6. Чи можна було уникнути вимирання маврикійського дронта? Чому?

У житті не все просто

■ 7. Які об'єкти природно-заповідного фонду України розташовано поряд із вашим населеним пунктом? Які види в них охороняються?

■ 8. У вигляді таблиці схарактеризуйте причини, що пояснювали б, чому Червона книга не є абсолютною гарантією збереження видового біорізноманіття України. До кожної з причин запропонуйте шлях покращення природоохоронного впливу Червоної книги.

§ 30. Екологічна політика в Україні

Основні цілі екологічної політики України потребують зусиль для їхньої реалізації

Зі зростанням кількості проблем, пов'язаних зі змінами в довкіллі, у середині ХХ ст. у світі почала формуватися нова галузь державного управління — екологічна політика. Її основним завданням є постановка екологічних цілей й сприяння їх досягненню на державному рівні. У 1946 році сформувалося Українське товариство охорони природи (рис. 30.1, А), яке стало основою відомств Української РСР, а згодом і України, що займаються питаннями природокористування. Починаючи з 2010 року ця галузь державного управління знаходиться під керівництвом Міністерства екології та природних ресурсів України (рис. 30.1, Б).



Згідно із Законом України про «Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» метою екологічної політики є стабілізація й поліпшення стану навколишнього природного середовища для створення безпечніших умов для життя й здоров'я населення, впровадження екологічно збалансованої системи природокористування та збереження природних екосистем і захист конституційних екологічних прав громадян. Основними зазначеними в ньому цілями екологічної політики є:

- формування в суспільстві екологічних цінностей і засад сталого споживання й виробництва;
- забезпечення сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України;
- зниження екологічних ризиків для екосистем і здоров'я населення;
- удосконалення та розвиток державної системи природоохоронного управління.

На жаль, частина завдань, що були закладені в попередній стратегії екополітики України до 2020 року, через складну економічну ситуацію, корупцію, лобіювання інтересів, кризи державної влади так і залишилися на папері. В Україні немає затвердженої концепції сталого розвитку, і він визначається Національною доповіддю «Цілі Сталого Розвитку: Україна» та ратифікованими¹ міжнародними угодами чи конвенціями, які зазвичай мають декларативний характер і не описують чітких шляхів досягнення поставлених цілей. Але в екологічній політиці держави більшу роль починають відігравати громадські організації й місцеві ініціативи (рис. 30.2). Влада ж зі свого боку повинна намагатися їх «почути» і створювати економічні стимули для реалізації природозбережувальних заходів.

¹ Ратифікація (від лат. *ratus* — затверджений і *facere* — робити) — процес затвердження міжнародного документа, що робить його обов'язковим до виконання на території держави.



А



Б

Рис. 30.2. Роль громадськості у вирішенні екологічних проблем

А. Прибирання екоактивістами й екоактивістками разом із місцевими жителями вулиць міста Кісумі в Кенії. **Б.** Протести проти будівництва гідроелектростанцій на Дністрі.

В Україні затверджено численні законодавчі акти, що регулюють природоохоронну галузь

Правова охорона довкілля полягає у визначенні прав, обов'язків і відповідальності громадян, підприємств і установ та держави загалом у взаємодії з навколишнім середовищем. Перші правові засади природоохоронного регулювання на українських землях з'явилися ще в XI-XII ст. у «Руській правді» — збірнику правових норм Київської Русі, де були прописані заборони на вилов деяких риб під час нересту, вимоги до ведення землеробства, бджолярства й інших ремесел. Сучасне екологічне право в нашій країні ґрунтується на низці законів, основні з яких наведено в таблиці 30.1.

Конституція України як основний закон України у статті 16 проголошує, що обов'язком держави є забезпечення екологічної безпеки й підтримання екологічної рівноваги на території країни, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи, збереження генофонду українського народу. Згідно із Законом

Таблиця 30.1. Основні нормативні акти України в галузі охорони природи

Нормативний акт	Рік прийняття
Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»	1991
Закон України «Про природно-заповідний фонд України»	1992
Закон України «Про охорону атмосферного повітря»	1992
Закон України «Про тваринний світ»	1993
Лісовий кодекс України	1994
Водний кодекс України	1995
Закон України «Про пестициди й агрохімікати»	1995
Конституція України	1996
Закон України «Про відходи»	1998
Закон України «Про рослинний світ»	1999
Земельний кодекс України	2001
Закон України «Про екологічну мережу України»	2004

Україні «Про охорону навколишнього природного середовища» кожна людина має право брати участь у обговоренні, розробленні й реалізації нормативно-правових актів, а також заходів, що спрямовані на охорону навколишнього природного середовища й раціональне використання природних ресурсів. І екологічні активісти й активістки намагаються реалізовувати це право якнайширше. При цьому громадянки і громадяни зобов'язані берегти й охороняти природу, раціонально використовувати її багатства й компенсувати шкоду, заподіяну негативним впливом на довкілля.

Україна бере участь у міждержавному співробітництві з питань охорони довкілля

Один із законів екології Баррі Коммонера зазначає, що «усе пов'язано з усім» і процеси антропоїчної зміни природи не є винятком. Ще у § 23 ми говорили про те, що забруднення стало глобальним процесом, коли місце утворення й місце впливу забруднювача можуть відділяти сотні й тисячі кілометрів (згадайте хоча б Велику тихоокеанську сміттєву пляму посеред океану).

Тому й боротися з негативними впливами на довкілля потрібно усюди, а не лише в кількох країнах, що задумуються над станом довкілля¹. Рішення, використані в одних країнах, можуть стати в нагоді в інших, а вплив природоохоронних заходів може поширюватися й через державні кордони. Ба більше, міжнародна співпраця дозволяє краще вирішувати локальні проблеми окремих регіонів. У 1996 році Україна ратифікувала Бернську конвенцію про охорону дикої флори й фауни та природних середовищ в Європі, а також бере участь у транскордонних проєктах збереження біорізноманіття в Карпатах і Чорному морі. Наприклад, на території Польщі, Словаччини й України створено міжнародний біосферний резерват «Східні Карпати», що став першим у світі біосферним заповідником, розташованим одразу в трьох країнах. Реалізація екологічних програм, пов'язаних із дельтою Дунаю, поєднує інтереси України, Румунії й Молдови, а з Чорним морем — ще й Болгарії, Туреччини та Грузії. Між Україною й багатьма державами світу підписано численні угоди про співробітництво в галузі охорони навколишнього природного середовища, ядерної безпеки, управління водними ресурсами, змін клімату.

Наша держава є активним учасником багатьох екологічних програм і організацій міжнародного рівня, зокрема тих, що проводяться під егідою ООН чи Європейського Союзу. В Україні ратифіковано численні міжнародні конвенції, частину з яких наведено в *таблиці 30.2*.

Багато з цих конвенцій мають додаткові протоколи чи угоди, що розширюють чи чіткіше окреслюють їх окремі положення. Зазвичай більшість названих протоколів ратифіковано й Україною. Так, наша країна ратифікувала Монреальський протокол, що покликаний обмежити виробництво й використання хлорофлуоровуглеводнів (фреонів) (*дивись § 24*), Киотський протокол і Паризьку

¹ Часто розвинені країни не підписують чи не ратифікують міжнародні екологічні договори через їхню економічну не вигідність для себе, протиставляючи сьогоденну вигоду майбутньому негативному впливові на довкілля.

Таблиця 30.2. Основні конвенції в галузі охорони довкілля, ратифіковані Україною

Конвенція	Рік підписання	Рік ратифікації
Віденська конвенція про охорону озонового шару	1985	1986
Конвенція про охорону біологічного різноманіття	1992	1994
Конвенція про захист Чорного моря від забруднення	1992	1994
Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату	1992	1996
Конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення	1973	1999
Конвенція про збереження мігруючих видів диких тварин	1979	1999
Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів і їх видаленням	1989	1999
Орхуська конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень і доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля	1998	1999
Європейська ландшафтна конвенція	2000	2005
Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі	2001	2007
Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат	2003	2004

кліматичну угоду (рис. 30.3), що призначені скоротити викиди парникових газів, Протокол про збереження біорізноманіття та ландшафтів Чорного моря, що спрямований на охорону акваторії моря, Картагенський протокол про біобезпеку, який регулює дослідження й використання генетично модифікованих організмів.

Як це не прикро, але в Україні є ряд проблем із впровадження положень ратифікованих конвенцій, протоколів і угод через часті зміни управлінського апарату, що повинен координувати їх виконання, блокування змін на рівні погодження різними міністерствами й відомствами. Однак у багатьох галузях, завдяки приєднанню України до міжнародних документів, спостерігаються значні екологічні зрушення. Завдяки активній позиції нашої країни в екологічних питаннях нам щороку вдається отримувати гранти на реалізацію природоохоронних заходів від міжнародних фондів і фінансових установ. Крім того, в Україні функціонують представництва міжнародних організацій, що займаються вивченням і збереженням довкілля (рис. 30.4).



Рис. 30.3. Момент підписання Паризької кліматичної угоди



Рис. 30.4. Усесвітній фонд природи є однією з міжнародних громадських організацій, що працюють в Україні

Елементарно про життя

- 1. Укажіть одну з цілей екологічної політики України до 2030 року.
 - А зменшення фінансування міжнародних екологічних проєктів
 - Б збереження природних екосистем
 - В підвищення кількості громадських організацій екологічного спрямування
 - Г формування в суспільстві розуміння засад державної екологічної політики
- 2. Додатком до якої конвенції є Монреальський протокол 1987 року?
 - А Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату
 - Б Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі
 - В Конвенції про збереження мігруючих видів диких тварин
 - Г Віденської конвенції про охорону озонного шару
- 3. Увідповідніть Закони України з цитатами з їх перших розділів.
 - 1 Про охорону навколишнього природного середовища А визначення ... системи заходів, пов'язаних з організаційно-економічним стимулюванням ресурсозбереження
 - 2 Про пестициди й агрохімікати В регулювання суспільних відносин у сфері охорони ... мохоподібних, водоростей, лишайників
 - 3 Про відходи Г збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних комплексів
 - 4 Про рослинний світ Г регулює правові відносини, пов'язані з ... виробництвом, закупівлею, транспортуванням ... та безпечним для здоров'я людини ... застосуванням

У житті все просто

- 4. У яких напрямках українським членам/членкиням парламенту варто посилити роботу над природоохоронним законодавством?

У житті не все просто

- 5. Сконтакуйте з найцікавішою для вас українською екологічною громадською організацією й дізнайтеся, чим вона займається. Поділіться почутим на уроці.
- 6. Активісти й активістки відомої організації «Greenpeace» часто йдуть на порушення закону для досягнення своїх цілей і привернення уваги до певної проблеми. Чи є такі способи захисту довкілля припустимими? Як по-іншому можна досягати бажаних цілей? Проведіть дискусію в класі з цього питання.

Проєкт для дружної компанії

- 7. Екологічна політика освітнього закладу.
 - 1) З'ясуйте, чи містяться в організаційних документах вашого освітнього закладу (наприклад, статуті) засади екологічної політики.
 - 2) Обговоріть з учнівським і педагогічним колективом, які аспекти екологічної політики варто було б запровадити.
 - 3) Обґрунтовано запропонуйте адміністрації закладу освіти здійснити кроки в цьому напрямку.



БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ

ЗДОРОВОГО

СПОСОБУ ЖИТТЯ

§ 31. Здоров'я людини

Здоров'я — це стан фізичного, психологічного й соціального благополуччя

Цього навчального року під час вивчення біології й екології ми приділили значну увагу проблемам взаємодії організмів і довкілля. При цьому серед усього живого своїм впливом на навколишнє середовище вирізняється людина. Але люди визначають не тільки стан оточення, але й стан власного організму. Як доводять дослідження, наше здоров'я на понад 50 % залежить від того, як ми живемо. Саме проблемі здорового способу життя людини й буде присвячено цей розділ.

Тривалий час природнича та медична спільноти вважали, що «в здоровому тілі — здоровий дух», і якщо в людини немає тілесних недугів, то її можна вважати здоровою. Тому дослідження зосереджувалися на вивченні фізичного тіла людини, шляхів його убезпечення й лікування. Здоров'ям тоді вважали просто відсутність хвороби. Але в ХІХ ст. завдяки більш докладному аналізу психіки й суспільних процесів стало зрозуміло, що таке тлумачення здоров'я є дуже обмеженим. Здорова людина — енергійна, добре себе почуває, легко переносить стресові ситуації, швидко відновлюється після хвороби, адекватно реагує на негаразди, а не просто не хворіє. Нині в науковій літературі є кілька сотень різних визначень здоров'я. Найбільш авторитетним і широким ми вважаємо визначення, зазначене в статуті Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ): «здоров'я — це стан повного фізичного, психічного й соціального¹ благополуччя, а не тільки відсутність хвороб і фізичних вад».

На жаль, точно сказати, чи повністю здорова людина, складно. Річ у тім, що багато хвороб і порушень мають безсимптомні періоди (наприклад, ВІЛ-інфекція може не проявлятися роками). Ба більше, як стверджував один із засновників науки про хвороби — патологічної фізіології² — український медик Володимир Підвисоцький: «Не існує абсолютного здоров'я й абсолютної патології, а між ними є численні переходи» (рис. 31.1).



¹ Від грец. *psyche* — душа та лат. *societas* — суспільство.

² Від грец. *pathos* — страждання і *logos* — вчення та *physis* — природа.

Окрім того, здоров'я є динамічною характеристикою й здорова сьогодні людина вже завтра може захворіти. Тим не менш, що здоровішим був організм перед хворобою, то швидше він відновить сили після неї. Варто також розуміти, що фізичне благополуччя не свідчить про психічне й соціальне та навпаки: найміцніша людина, яка не боїться «ні вогню, ні води», може при цьому бути абсолютно неврівноваженою чи непристосованою до життя в людському суспільстві. Також психічний і фізичний стани людини є взаємопов'язаними, бо як хвороба впливає на емоційний стан, так і від надмірних переживань погіршується тілесне здоров'я.

Утім, як би складно не було визначити, що таке здоров'я і який його стан, зрозуміло, що без гарного здоров'я не можлива самореалізація людини, досягнення успіху й щастя в житті. Тому саме здоров'я є однією з найвищих цінностей людського життя. Але на думку видатного українського хірурга Миколи Амосова, «щоб стати здоровим, потрібні власні зусилля, постійні й значні. Замінити їх немає чим».

Складники персонального здоров'я не завжди піддаються чіткому аналізу

Персональне здоров'я людини за своєю суттю є відносною характеристикою, що описує відповідність життєдіяльності людини певним критеріям. Риси здоров'я поділяють на три групи, залежно від того, який його складник вони характеризують (табл. 31.1). Водночас окремі критерії здоров'я часто є узагальненими й їхню якість важко точно визначити.

Критерії фізичного здоров'я є найчіткіше сформульованими й зазвичай вимірюваними. Наприклад, частота серцевих скорочень у стані спокою має бути 60–70 ударів на хвилину, артеріальний тиск на плечовій артерії — менший

Таблиця 31.1. Складники здоров'я

Фізичне благополуччя		
Витривалість, відповідність показників роботи організму нормам, енергійність, адекватна реакція на зміни довкілля, відсутність хвороб, наявність імунітету до них		
Психічне благополуччя		
Інтелектуальне	Емоційне	Духовне
Компетентність у певних сферах, уміння аналізувати й приймати раціональні рішення, плідно працювати й самовдосконалюватися	Уміння керувати емоціями, витримувати емоційні стреси, здатність співпереживати, оптимізм	Розуміння суспільної системи цінностей, здатність відчувати красу, позитивна самооцінка й самоповага, наявність життєвих цілей
Соціальне благополуччя		
Уміння ефективно комунікувати й співпрацювати, задоволення власним соціальним статусом, повага та толерантність до інших		

за 140/90 мм рт. ст., індекс маси тіла¹ — у межах 18,5–25 кг/м², уміст глюкози в крові дорослих — 4–6 ммоль/л, повинні бути відсутні віруси гепатиту, грипу тощо. Але є й менш чітко окреслені фізичні характеристики: порушення сну чи погіршення апетиту, швидка втомлюваність. Стан цих ознак, що є нормою для однієї людини, може бути ознакою хвороби в іншій. Наприклад, дехто чудово почувається, проспавши лише 6 годин, а у когось така тривалість сну є ознакою порушення роботи головного мозку.

Показники ж психічного здоров'я оцінити ще важче. Для цього представники й представниці психіатричної спільноти розробляють спеціальні анкети, способи ведення співбесід, зорові тести (рис. 31.2). На жаль, подекуди різні психологічні тестування, що використовуються для визначення однієї характеристики, дають різні результати.

Проблема виміру рівня соціального благополуччя полягає в тому, що потрібно спостерігати не за окремою особою, а цілим колективом, що не завжди легко зробити й проаналізувати. Тому дослідники й дослідниці здебільшого використовують середні характеристики соціального здоров'я окремих груп людей (учнівства, робітничої спільноти, управлінців тощо). Крім того, у наукових колах досі не існує єдиної думки щодо того, якою саме має бути соціально благополучна людина.



Рис. 31.2. Картки з тесту Роршаха

Для визначення особливостей психіки підслідного використовують асоціації, викликані зображеннями симетричних чорнильних плям.

Проблеми людського здоров'я вивчаються численними науками

Оскільки здоров'я людини є комплексною характеристикою, що включає різноманітні складники, то й наук, які займаються його дослідженням, багато. Найперша роль у вивченні фізичного й психічного здоров'я людини, шляхів діагностики, лікування й профілактики хвороб належить **медицині** (рис. 31.3). Більшість медичних спеціальностей зосереджуються на проблемах визначення й боротьби з недугами, але є кілька дисциплін, що зосереджені на профілактиці хвороб і підтриманні здоров'я. Так, гігієна² займається вивченням способів збереження здоров'я, впливу на нього умов існування й способу життя

¹ Розраховується як відношення маси тіла в кілограмах до квадрату зросту в метрах.

² Від грец. *hygieinos* — здоровий.

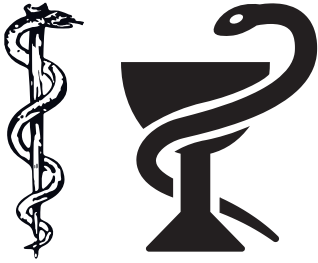


Рис. 31.3. Посох Асклепія (А) та келих Гігієї (Б) є найпоширенішими символами медицини й походять із грецької міфології

людини, а епідеміологія¹ — вивченням поширення хвороб серед населення й шляхів його попередження. Часто зі складу гігієни виокремлюють екологію людини (медичну, або соціоекологію), що займається питаннями дії довкілля на людину. Дослідженням здорового харчування займається дієтологія, статевого життя — сексологія. Очевидно, що основою цих дисциплін є біологія, яка вивчає розвиток і функціонування як організму людини, так і хвороботворних організмів, а також вплив середовища на живих істот.

Проблемами психічного здоров'я займаються **психологія, психіатрія та психотерапія**. Психологія зосереджується на загальних рисах психіки й психічної діяльності, психіатрія — на лікуванні психічних розладів, а психотерапія — на лікувальній дії на психіку з метою вирішення емоційних чи соціальних проблем (рис. 31.4). При цьому психологи є науковцями, психіатри — медичними спеціалістами, а психотерапевти — часто і тими і тими, оскільки мають розумітися не лише на процесах у свідомості, але й на тому, як на них впливати.

Соціальні аспекти здоров'я є предметом вивчення **соціології** — науки про суспільство й закономірності його функціонування. Завдяки соціологічним дослідженням вдається з'ясувати не лише зміни в соціальному здоров'ї, але й чинники, що на нього впливають (їм буде присвячено вже наступний параграф). Ба більше, існує навіть окрема галузь — соціологія медицини, що займається вивченням ставлення людей до здоров'я й здорового способу життя, особливостей поведінки під час хвороби й лікування, впливу системи охорони здоров'я на різноманітні параметри суспільства.

Отже, єдиної науки, що займалася б вивченням усіх аспектів здоров'я, не існує. Створене в 1980-х роках у Радянському Союзі й розвинене в СНД учення під назвою «валеологія»², мало б якраз займатися вивченням усіх рис здоров'я та способів його підтримання, натомість почало використовувати не тільки наукові знання, але й ідеї нетрадиційної медицини, астрології, релігії та перетворилося на псевдонауку, що лише імітує наукове пізнання світу.

¹ Від грец. *epidemia* — поширений серед народу.

² Від лат. *valeo* — бути здоровим.

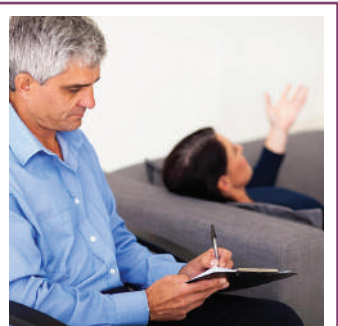


Рис. 31.4. Сеанс психотерапії

Бесіди із психотерапевтом зазвичай відбуваються в спокійних невимушених умовах, що сприяє більш довірливій розмові й покращує рівень взаєморозуміння між клієнтом і спеціалістом.

Елементарно про життя

- 1. Виберіть НЕправильне твердження про здоров'я.
А однією зі складових соціального здоров'я є вміння порозумітися з іншими
Б здоров'я — це стан, коли людина не має інфекційних хвороб
В психічно здорова людина спроможна добре переносити стресове напруження
Г артеріальний тиск 120/80 мм рт. ст. відповідає критерієві фізичного здоров'я
- 2. Фізична хвороба негативно впливає на психічне здоров'я, оскільки
А хвора людина гірше керує своїми емоціями
Б під час хвороби може змінюватися кількість глюкози в крові
В одужання збільшує рівень взаємоповаги між людьми
Г причиною хвороби є зниження імунітету
- 3. Який із наведених параметрів характеризує фізичне благополуччя людини?
А вага тіла 50 кг Б уміння співпереживати
В відсутність карієсу Г розуміння загальнолюдських цінностей
- 4. Однією зі складових психічного здоров'я людини є
А відсутність фізіологічних порушень у роботі мозку
Б навички емоційного самоконтролю
В уміння знаходити спільну мову з різними людьми
Г м'язова витривалість
- 5. У відповідність науку, що вивчає здоров'я, та предмет її дослідження.
А способи допомоги у вирішенні проблем самореалізації
1 гігієна Б норми безпечного складу повітря
2 дієтологія В методи лікування порушень пам'яті
3 епідеміологія Г способи запобігання перенесенню вірусів через
4 психотерапія державний кордон
Д необхідна енергетична цінність харчового раціону

У житті все просто

- 6. Обґрунтуйте твердження давньогрецького філософа Сократа: «здоров'я — це не все, але все без здоров'я — ніщо».
- 7. Одним із критеріїв фізичного здоров'я є норми, що описують, які організми та в якій кількості живуть на чи в тілі людини. Перерахуйте здорових симбіонтів людини та тих, поява яких однозначно свідчить про хворобу.
- 8. Поясніть різницю між психологом, психіатром і психотерапевтом. Чи може одна людина водночас бути спеціалістом/спеціалісткою в усіх згаданих галузях?

У житті не все просто

- 9. Знайдіть у літературі чи мережі Інтернет іще кілька визначень здоров'я.
На яких аспектах вони зосереджуються? Які їх переваги й недоліки щодо запропонованого визначення Всесвітньої організації охорони здоров'я?
- 10. Чим займається психогігієна? Як вона поєднує психологію й гігієну?

§ 32. Чинники впливу на здоров'я

Здоров'я людини залежить від багатьох чинників різної природи

На шляху до пошуку відповіді на питання «як бути здоровим?» необхідним кроком є визначення того, від чого ж залежить наше здоров'я. Було проведено багато досліджень, щоб віднайти чинники, які впливають на здоров'я. У результаті виокремили 5 основних груп чинників (табл. 32.1, рис. 32.1), впливи яких подекуди залежать не стільки від дій самої людини, як від суспільної організації (рівня медичного обслуговування, чистоти довкілля тощо). Однак, найбільш суттєвий вплив здійснюють фактори, пов'язані з поведінкою людини: її соціальне становище й спосіб життя.



Рис. 32.1. Діаграма усередненого впливу різних груп чинників на здоров'я

- 1 – спосіб життя,
- 2 – соціальні умови,
- 3 – спадковість і параметри тіла,
- 4 – медичне обслуговування,
- 5 – стан довкілля.

Таблиця 32.1. Чинники впливу на здоров'я

Група чинників	Чинники	Ступінь ¹ впливу
Стан довкілля	Якість води, повітря, ґрунту, продуктів харчування, умови клімату, властивості техногенного середовища	3–20 %
Медичне обслуговування	Доступність і якість медичного обслуговування, освіченість у питаннях здоров'я	10–20 %
Спадковість і параметри тіла	Генотип, стать, вік, зріст, вага, фізіологічні та анатомічні риси	20–30 %
Соціальні умови	Умови праці, наявність дискримінації, умови проживання, культура й традиції, дохід, рівень освіти й грамотність	15–40 %
Спосіб життя	Фізична активність, харчовий раціон, режим відпочинку, шкідливі звички, статеве життя, рівень стресу, рівень оптимізму й впевненості в собі	30–50 %

Умови природного й антропогенного довкілля визначають здоров'я людини

Оскільки людина, як і будь-який організм, взаємопов'язана з середовищем мешкання (згадайте § 1), то стан довкілля впливає на наше благополуччя. Від якості води, що вживає чи використовує людина, залежить ризик зараження численними інфекціями травної системи та отруєння токсичними речовинами. Так, близько 90 % смертей від діареї у світі спричинені контактом людей із брудною водою. Для уникнення цього в багатьох розвинених країнах воду централізовано дезінфікують. Але перед уживанням все одно варто її прокип'ятити. Крім цього, упровадження відокремленої каналізації та навчання гігієнічним навичкам ефективно сприяють забезпеченню здоров'я людини.

¹ Кількісні характеристики впливів різняться через відмінні методики підрахунку.



Рис. 32.2. Зменшення негативного впливу довкілля на здоров'я

А. Центральний парк у Нью-Йорку — зелена оаза посеред багатомільйонного міста.
Б. Автомобіль на водневому паливі на заправній станції.

Основними джерелами забруднення повітря, як вам уже відомо, є викиди промисловості й транспорту. На центральних вулицях великих міст і біля промислових підприємств часто концентрації чадного й сірчистого газу, легких органічних сполук перевищують гранично допустимі норми й становлять небезпеку для здоров'я. Найкращими шляхами попередження негативного впливу цього чинника на здоров'я є озеленення міст, установлення фільтрів, перехід на інші види енергії (електрику, водневе паливо тощо) (рис. 32.2). Вдихання диму від спалювання вугілля, деревини, рослинних решток є причиною кожної п'ятої хвороби нижніх дихальних шляхів у світі! Ця проблема актуальна й для України навесні та восени, коли люди починають інтенсивно спалювати траву й опале листя. Робити цього не можна не лише з огляду на здоров'я чи екологію, але й відповідно до законів нашої держави.

Продукти харчування, що вирощені на забруднених важкими металами чи пестицидами ґрунтах, є причиною хронічного отруєння, зниження імунітету й розвитку різноманітних порушень. Тому використання пестицидів повинно бути раціональним, а обсяги промислових викидів і стан ґрунтів регулярно контролюватися.

Не менший вплив на здоров'я має й техногенне середовище. Перенаселеність міст є причиною швидкого поширення інфекцій, значного рівня хімічного й фізичного забруднення (шум, електромагнітне і світлове забруднення). Незручні умови проживання, пересування й роботи спричиняють стрес, порушення постави, психологічні розлади тощо. Розповсюдження мобільних телефонів, гаджетів, персональних комп'ютерів значно змінило спосіб життя людини — спричинило меншу рухливість, почастішання хвороб зору й спини.

Якісне й доступне медичне обслуговування сприяє підтриманню здоров'я людини

Важливий внесок у підтриманні здоров'я відіграє медицина. Сучасна якісна медицина ґрунтується на доказовості: будь-які процедури чи препарати мусять мати доведену ефективність, щоб використовуватися для діагностики й лікування¹. Це дозволяє уникати надмірного застосування медичних процедур

¹ Винятком із цього правила є процедури й препарати, що проходять клінічні випробування. Якраз під час них і буде визначено: чи є конкретна технологія корисною і якою мірою.

і прийому надлишкових кількостей препаратів, що сприяє економії ресурсів та зменшує несприятливий вплив на здоров'я. Наприклад, доведено, що антибіотики й гірчичники є неефективними проти вірусних хвороб (як-от нежитю чи грипу), тому їх і не призначають у цьому разі. Крім того, доказова медицина не дозволяє використовувати для лікування препарати з недоведеною ефективністю, якими є гомеопатичні «ліки»¹ чи біологічно активні добавки (БАД).

Іншою рисою медичного обслуговування, що забезпечує високий рівень здоров'я, є його доступність: як територіальна, так і фінансова. Стандарт доступності медичних послуг полягає в наявності на кожну 1000 осіб одного медичного спеціаліста чи спеціалістки. При цьому екстрені медичні служби мають розташовуватися близько до потенційних пацієнтів: дослідження у США продемонстрували, що збільшення відстані від пацієнта чи пацієнтки до закладу невідкладної медичної допомоги на 10 км збільшує смертність на 1 %. В Україні лікарні розташовані, здебільшого, в адміністративних центрах, що робить систему охорони здоров'я централізованою, але недостатньо розвинутою в сільській місцевості. Водночас усі базові медичні послуги мають бути безкоштовними й доступними для населення.

Іншим важливим чинником впливу на здоров'я є вакцинація: що більшу частину людей вакциновано, то менша ймовірність поширення інфекції і розвитку епідемії. В Україні діє ефективний календар щеплень, завдяки якому діти й підлітки безкоштовно отримують вакцини проти розповсюджених хвороб: паротиту («свинки»), кашлюку, кору, туберкульозу, гепатиту В, поліомієліту. Крім того, дорослі власним коштом можуть зробити собі щеплення від сезонного штаму грипу, а також інших хвороб. Завдяки вакцинації вдалося повністю викоринити на Землі натуральну віспу, а кількість випадків появи інших інфекційних хвороб у світі скоротилася в рази (табл. 32.2). Але необґрунтоване побоювання побічних ефектів вакцин часто є причиною відмови батьків від вакцинації власних дітей (рис. 32.3). І це не зважаючи на те, що

Таблиця 32.2. Вплив вакцинації на рівень захворюваності й смерті у США (на млн людей на рік, станом на 2007 рік)

Хвороба	Випадків			Смертей		
	До вакцинації	Після вакцинації	Зміна, %	До вакцинації	Після вакцинації	Зміна, %
Дифтерія	158	0	100	13,7	0	100
Кір	3044	0,2	99,99	2,5	0	100
Паралітичний поліомієліт	103	0	100	11,8	0	100
Краснуха	242	0,04	99,98	0,09	0	100
Правець	4	0,14	96,6	3,2	0,01	99,6
Вітряна віспа	16018	2046	87,2	0,41	0,06	84,3

¹ У цих препаратах дієві речовини знаходяться в дуже низьких концентраціях, подекуди настільки, що єдина молекула «ліків» міститься лише в одній порції з мільйонів чи мільярдів, а в решті порцій, відповідно, наявний лише розчинник.

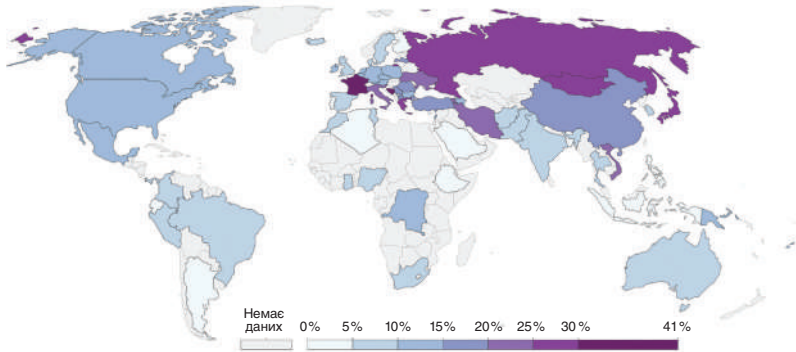


Рис. 32.3. Поширення антивакцинних переконань у світі

На мапі зазначено відсоток людей, які вважають вакцини небезпечними, у різних державах. На жаль, Україна знаходиться серед лідерів за розповсюдженням антивакцинаторських поглядів.

смертність від хвороби й ризик розвитку ускладнень у сотні й тисячі разів більші, ніж частота прояву висипу чи незначного підвищення температури тіла після щеплення.

Спадковість визначає риси здорової людини на початку життя

Набір генетичної інформації кожна людина отримує в спадок від батьків, тому вплинути на цей чинник нащадки не можуть (але батьки частково спроможні — про це йтиметься у § 36). Разом із генами передаються спадкові хвороби, що можуть мати моногенну, полігенну чи хромосомну природу. У першому випадку прояв хвороби визначається наявністю певного алеля в генотипі в певному стані (гомо- чи гетерозиготному). При полігенних же хворобах успадковується лише схильність до розвитку порушення, що може проявитися за певного способу життя чи впливу довкілля.

Таку природу мають шизофренія, цукровий діабет, ревматоїдний артрит, бронхіальна астма, деякі види раку. Також із генами успадковується норма реакції¹ для зросту, ваги й анатомічних (розміру серця, кісток) і фізіологічних параметрів тіла (артеріального тиску, швидкості реакції) (рис. 32.4). У подальшому, залежно від способу життя чи дії навколишнього середовища, вони визначатимуть рівень здоров'я.



Рис. 32.4. Брати-близнята

Незважаючи на однаковий генотип, мають різний зріст у межах норми реакції.

Вплив на здоров'я має і стать. Аналіз тривалості життя довів, що жінки в більшості країн світу живуть довше, ніж чоловіки²: у середньому майже на 5 років, а в Україні на понад 10! ВООЗ пояснює таку різницю не лише відмінністю біологічної статі, але й різницею за

¹ Норма реакції — межі мінливості характеристики при певному генотипі.

² Обернена залежність спостерігається в країнах, де розповсюджена дискримінація жінок.

соціальними ролями (гендером) — чоловіки частіше стикаються з небезпечними для здоров'я умовами, užívають алкоголь і палять, гинуть у аваріях, отримують травми на виробництві. Крім того, відмінними є й порушення, що характерні для осіб обох статей. Особам чоловічої статі більш характерні хронічні захворювання серцево-судинної системи, нирок і печінки, а також у них частіше проявляються спадкові хвороби, зумовлені генами, розташованими в Х-хромосомі. Для осіб жіночої статі більш властиві аутоімунні захворювання¹ (розсіяний склероз, псоріаз, системний червоний вовчак) і хвороби сполучної тканини (запалення судин, порушення будови кісток тощо). Утім для багатьох хвороб (особливо інфекційних) захворюваність ніяк не залежить від статі.

Зрозуміло, що здоров'я залежить і від віку людини: імовірності розвитку хронічних хвороб, виникнення порушень будови організму зростають із віком.

У розвиненому й освіченому суспільстві живуть здорові люди

Оскільки більшу частину дня дорослі люди проводять на роботі, то умови праці мають значний вплив на здоров'я. Незручність робочого місця, незадоволення рівнем оплати праці, дискримінація й тиск з боку керівництва (рис. 32.5) спричиняють постійне стресове навантаження на організм, що з часом призводить до появи порушень функціонування психіки й тіла. Ефективні та здорові співробітник чи співробітниця повинні розуміти мету своєї праці, брати участь у прийнятті робочих рішень, мати змогу регулювати рівень свого навантаження та відчувати повагу до своєї праці як у колективі, так і в суспільстві.

Вірогідний вплив на здоров'я мають рівень добробуту в країні, наявність соціальної напруженості (незадоволення владою, законодавством, суспільними відносинами), безробіття, дискримінації за ознаками статі, раси, релігії, статевої орієнтації, майнового стану. Зазвичай у розвинених країнах такі впливи відсутні чи незначні, у той час як у країнах, що розвиваються, проявляються сильніше. З другого боку, висока щільність міст спричиняє обмеження особистого простору й постійне «відчуття натовпу», надмірний потік інформації, необхідність постійно контактувати зі значною кількістю людей, що також впливає на здоров'я. Тому містянам і містянкам радять частіше вибиратися до сільської місцевості чи просто на природу, проводити час у парках, слухати музику, медитувати.

Зрештою, важливим чинником здоров'я є освіта й інтелектуальний розвиток людини. Знання й уявлення про безпеку, уміння знаходити ефективні шляхи вирішення проблем, розуміння принципів здорового способу життя повинні бути неодмінними рисами сучасної людини.



Рис. 32.5. Можливі прояви дискримінації та тиску на роботі

¹ Хвороби, за яких імунна система починає атакувати клітини власного організму.

Елементарно про життя

■ 1. Під час опитування української молоді про чинники негативного впливу на їхнє здоров'я більшість віддала перевагу впливу стану навколишнього середовища. Експерти й експертки висловилися щодо цього. Перший експерт вважає, що це пояснюється недостатньою поінформованістю молодих людей у цьому питанні, а також популярністю тем забруднення довкілля в суспільній свідомості. Друга експертка переконана, що молодь просто хоче зняти з себе відповідальність за власне здоров'я. Хто з експертів має рацію?

□ **А** лише перший експерт **Б** лише друга експертка

В обоє праві **Г** жоден з експертів

■ 2. Двоє підлітків висловилися щодо чистоти води. Сауль вважає, що воду з-під крана завжди потрібно кип'ятити. Хімена стверджує, що дезінфікувати треба лише ту воду, що буде використана для приготування їжі чи пиття. Хто з підлітків має рацію?

А лише Сауль **Б** лише Хімена **В** обоє мають рацію **Г** жоден із підлітків

■ 3. Які з цих препаратів НЕ використовують в доказовій медицині?

А антибіотики **Б** вітаміни **В** гомеопатичні ліки **Г** гормони

■ 4. У відповідність групу чинників впливу на здоров'я й чинники.

- | | |
|--------------------------|--|
| 1 стан довкілля | А використання застарілого обладнання |
| 2 медичне обслуговування | для рентгенодіагностики |
| 3 спадковість | Б накопичення в сільськогосподарських ґрунтах |
| і параметри тіла | йонів важких металів |
| 4 соціальні умови | В відмова від вакцинації |
| 5 спосіб життя | Г нерегулярний рух громадського транспорту |
| | Д наявність у генотипі чоловіка алелю гемофілії |

У житті все просто

□ ■ 5. Сформулюйте 10 рис ідеальної для здоров'я населення державної медичної системи. Врахуйте вплив факторів різних груп.

■ 6. Доведіть, що успадкована норма реакції зросту впливає на фізичне, психічне й соціальне благополуччя людини.

У житті не все просто

■ 7. Чому деякі батьки відмовляються вакцинувати своїх дітей? Якими аргументами на підтримку необхідності вакцинації ЗМІ могли б вплинути на їх рішення?

□ ■ 8. Порівняйте вплив різних чинників на здоров'я українців і українок із впливом на тих, хто проживає в інших державах Європи й Азії. Підтвердіть свої висновки статистичними даними.

Проект для дружної компанії

■ 9. Проведіть мозковий штурм, проаналізуйте літературні джерела і схарактеризуйте вплив цифрових пристроїв (смартфонів, планшетів, комп'ютерів) на здоров'я людини. Організуйте дискусію на уроці на тему «Комп'ютеризація — добро чи зло для здоров'я людини?».

§ 33. Принципи здорового способу життя – 1

Здоровий спосіб життя корисний не тільки для людини, але й для довкілля

Як нам вже відомо, лише поєднання трьох складників — фізичного, психологічного й соціального благополуччя робить людину здоровою. Базовим серед них є фізичне здоров'я, оскільки саме від стану тіла багато в чому залежить здатність досягти двох інших. Тому надалі ми зосередимо увагу саме на фізичному здоров'ї та факторах, що на нього впливають.

Оскільки найбільшим чином стан фізичного благополуччя залежить від наших повсякденних дій, то є потреба розібратися, який спосіб життя дозволить кожному з нас бути здоровим. Такий спосіб, що відповідає науково обґрунтованим рекомендаціям і спрямований на запобігання хворобам, збереження здоров'я й зміцнення організму, називають **здоровим способом життя (ЗСЖ)** (рис. 33.1). До речі, забезпечення ЗСЖ є ціллю № 3 «Порядку денного в галузі сталого розвитку на період до 2030 року» (дивись § 28), тож такий спосіб життя є вигідним не лише для кожної людини, але й для планети загалом!

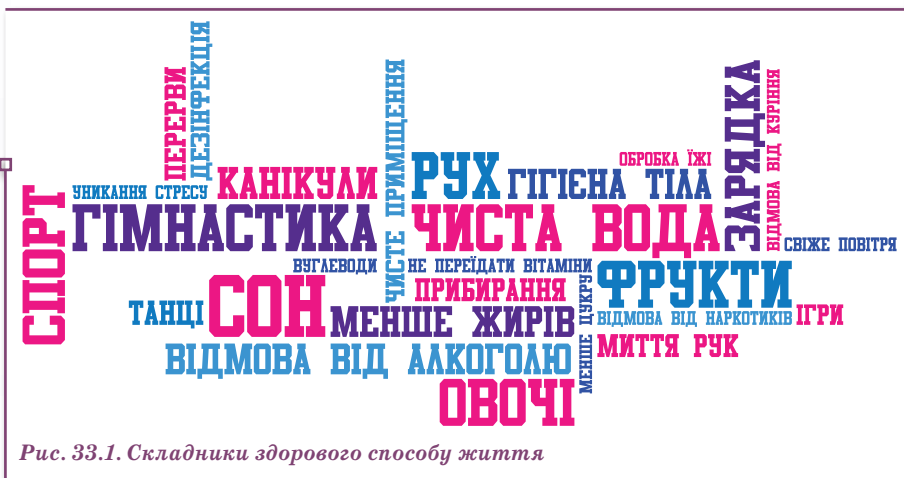


Рис. 33.1. Складники здорового способу життя

Виокремлюють кілька основних складників ЗСЖ: рухова активність, раціональне харчування, гігієна, відпочинок, відмова від шкідливих звичок. У цьому й наступних параграфах ми детально розглянемо принципи ЗСЖ, що стосуються кожного з названих компонентів.

Рух є необхідною умовою профілактики гіподинамії

Згідно зі статистикою ВООЗ близько чверті людей на планеті мають недостатній рівень фізичної активності. Малорухливий спосіб життя, коли людина робить замало м'язових зусиль у повсякденній діяльності, отримав назву гіподинамія. Гіподинамія має численні негативні наслідки, для запобігання яким потрібні лише час і бажання працювати над собою.

ВООЗ рекомендує підліткам займатися фізичною активністю помірної й високої інтенсивності не менше 60 хвилин на добу. Здебільшого це повинні бути аеробні вправи з помірним навантаженням. Під час їх виконання задіяно багато м'язів, при цьому енергія для роботи надходить від кисневого дихання. Ознакою таких вправ є можливість їхнього безперервного виконання протягом тривалого часу за високої частоти дихальних рухів. До аеробних вправ належать: біг, плавання, катання на велосипеді, танці, ігрові види спорту (футбол, волейбол, теніс, бадмінтон), активна робота на городі чи вдома. Але тричі на тиждень фізична активність має бути високоінтенсивною або анаеробною. Таке навантаження завжди короткочасне й велике, через що організм не встигає наситити м'язи киснем, і вони працюють у анаеробних умовах. Завдяки цим вправам зростає м'язова сила й витривалість. Це, наприклад, заняття у важкоатлетичному тренажерному залі, біг на коротку дистанцію (наприклад, за трамваем чи автобусом, що вирушає із зупинки) тощо.

Дорослі повинні витрачати не менше 150 хвилин щотижня на аеробні вправи середньої інтенсивності або не менше 75 хвилин на вправи високої інтенсивності, чи пропорційно (у співвідношенні 2 : 1) комбінувати їх. При цьому анаеробні силові вправи мають виконуватися не рідше ніж двічі на тиждень.

Для того, щоб фізична активність мала позитивний ефект, вона повинна бути регулярною й тривати не менше 10 хвилин однократно. Разом із тим, для кожної людини рівень навантажень є індивідуальним, і його збільшення повинно відбуватися поступово. Але варто пам'ятати, що фізична активність будь-якого рівня й у будь-якій кількості буде корисною всім (рис. 33.2).

Завдяки фізичній активності вдається підтримувати високий рівень здоров'я

Фізична активність дозволяє уникнути послаблення серцевого м'яза й зниження тону кровеносних судин. Це сприяє нормальному забезпеченню клітин киснем і поживними речовинами, що є передумовою міцного імунітету, відсутності порушень в обміні речовин і гормональній регуляції. Люди, які фізично

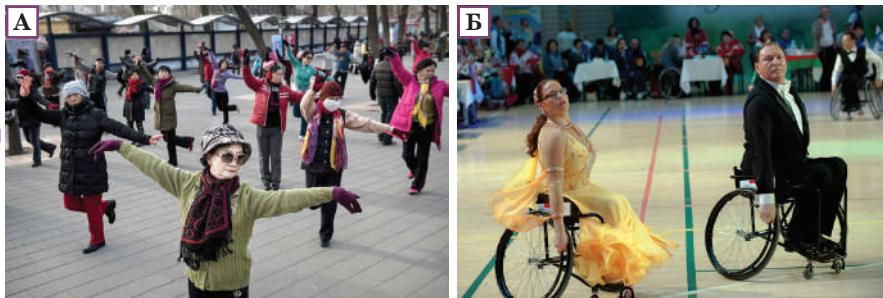


Рис. 33.2. Фізична активність важлива для всіх

А. Ранкова зимова зарядка на вулицях Пекіна.

Б. Змагання зі спортивних танців серед людей із вадами опорно-рухового апарату.

активні, мають менші ризики розвитку неінфекційних хвороб (наприклад, ішемічної хвороби серця¹, атеросклерозу, раку, цукрового діабету), та мають вищу опірність організму до інфекційних хвороб. Зазвичай, вони менш схильні до ожиріння. Завдяки наявності фізичних навантажень стан м'язів і кісток покращується. Як наслідок, людина стає більш витривалою, спритною й гнучкою. Ба більше, рухова активність є ефективною профілактикою порушень опорної системи², через які з віком стає важче рухатися.



Рис. 33.3. Командні тренування, програти й перемогти роблять незнайомих людей найкращими друзями й подругами

Рухливі люди є більш психічно та соціально благополучними: вони менше схильні до зневіри у власні сили, депресії, мають вищу працездатність і кращу пам'ять. Також у процесі заняття спортом або танцями підвищується самооцінка, зменшується тривожність, виникають нові дружні зв'язки, з'являється відчуття щастя (рис. 33.3). Останнє пов'язано з тим, що під час фізичних навантажень у центральній нервовій системі утворюються ендорфіни — пептидні гормони, що викликають відчуття щастя (ейфорію). Також спортивна людина є красивою фізично, що додає їй впевненості в житті.

Для того, щоб бути здоровим, треба вживати здорову їжу

Не менш важливим компонентом ЗСЖ є здорове харчування. Один із його основних принципів — це енергетичний баланс: кількість енергії, що надходить із їжею, повинна відповідати кількості енергії, що витрачається. В іншому випадку людина ризикує мати надмірну масу тіла й ожиріння або бути постійно голодною, знервованою й пасивною. Енергетична норма калорійності їжі для людини з помірною фізичною активністю складає 2600 ккал на добу. Однак люди, які ведуть малорухливий спосіб життя, повинні зменшити калорійність їжі, а ті, хто щодня витрачає значну кількість енергії на заняття спортом чи фізичну роботу — навпаки збільшити.

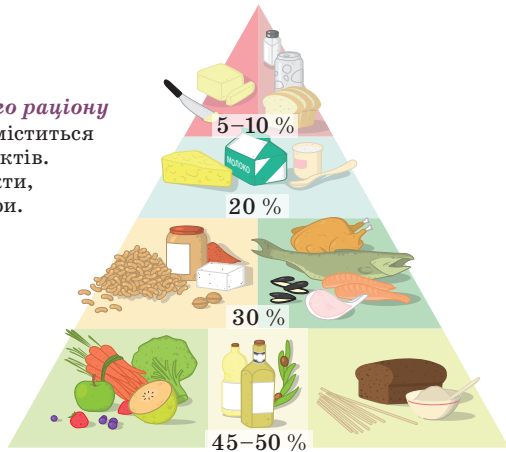
Здоровий раціон повинен містити продукти різноманітного походження (рис. 33.4). При цьому важливим є збалансоване надходження білків, жирів і вуглеводів, маси яких мають приблизно співвідноситися як 1 : 1 : 4 (табл. 33.1). Найголовнішим джерелом білків є м'ясо. Нині в дієтології панує думка щодо шкідливості червоного м'яса великих травоядних тварин (яловичини, баранини,

¹ Ця хвороба спричинена погіршенням кровопостачання серцевого м'яза через порушення в коронарних артеріях, що його живлять.

² Наприклад, руйнування кісток (остеопорозу), суглобів (остеоартрозу) і хрящів (остеохондрозу).

Рис. 33.4. Харчова піраміда продуктів здорового щоденного раціону

Найбільше в здоровому раціоні міститься зернових продуктів, овочів і фруктів. Близько 30 % складають продукти, багаті на білки й ненасичені жири. Молочні продукти третього рівня займають п'яту частину всього раціону. Решта — це продукти, вживання яких потрібно звести до мінімуму.



свинини) і продуктів із нього (ковбас, консервів). Тому в здоровому раціоні повинно переважати м'ясо птиці, риби, безхребетних (молюсків, членистоногих) і рослинні білки, які також містять незамінні амінокислоти. Але важливо не переїдати білкових продуктів, щоб уникнути проблем із печінкою й нирками, що відповідають за розщеплення й виведення надлишків амінокислот із організму. Нестача ж білка є причиною зниження імунітету, швидкої втоми, порушення гормонального балансу тощо.

Основними енергоносіями їжі мають бути вуглеводи. Серед них у раціоні повинні переважати так звані «повільні» вуглеводи, що в травній системі розщеплюються поступово й забезпечують тривале надходження моносахаридів до крові. До них належать оліго- й полісахариди, що не мають солодкого смаку, основним серед яких є крохмаль. Вони містяться в різноманітних крупах, горіхах, овочах і фруктах. Кількість енергії, яку ми отримуємо зі «швидких» солодких вуглеводів (здебільшого цукру), має бути меншою за 10 % від загальної калорійності їжі. Тому тістечка, печиво, морозиво, солодощі, безалкогольні газовані напої повинні стати рідкісними складниками щоденного раціону.

Так само рекомендовано зменшити вміст жирів у їжі й віддавати перевагу рідким рослинним жирам (оліям), замість твердих тваринних (сала). Так можна убезпечитися від надмірного надходження холестеролу, порушень у роботі судин і серця, розвитку цукрового діабету. Тому кількість жирних страв має бути мінімізованою, зате заправлені рослинними оліями салати зі свіжих овочів і фруктів повинні стати нормою щоденного раціону. Крім того, варто

Таблиця 33.1. Рекомендований баланс основних компонентів їжі

Хвороба	Білки	Жири	Вуглеводи	Вода
Добова потреба, г/добу	80–120	80–100	350–450	1800–2500
Калорійність, кДж/г (ккал/г)	17,2 (4,1)	38,9 (9,3)	17,2 (4,1)	0

прибрати з раціону транс-жири, що утворюються під час промислового гідрування рослинних олій (детальніше про них ітиметься в рубриці «Цікаве життя» після параграфу). Їх багато в кондитерських виробках, цукерках і маргарині, що є ще одним аргументом мінімізувати вживання таких продуктів.

Понад те, салати є прекрасним джерелом вітамінів і мінералів, якими багата свіжа рослинна їжа (рис. 33.5). Уживання овочів чи фруктів із кожним прийомом їжі має стати гарною традицією здорового харчування. Важливо, що разом із волокнистими овочами (капуста, кабачки, перець), зеленню й висівками злаків до організму надходить целюлоза (клітковина). Вона потрібна для нормальної життєдіяльності кишкової мікрофлори та руху їжі травним трактом. Крім того, рослинні волокна створюють відчуття ситості в шлунку, що сприяє уникненню переїдання.

Ще однією рисою здорового харчування є незначна кількість кухонної солі у стравах — її вживання не має перевищувати 5 грамів на день (однієї чайної ложки). Таке обмеження дозволяє уникнути розвитку гіпертензії, порушень серцево-судинної системи, руйнування кісток. Бажано, щоб сіль була йодованою, що є профілактикою йододефіциту в організмі.

Зрештою, раціон не буде повноцінним без достатньої кількості води. Але потреба в ній залежить від клімату, умов життя, рівня фізичної активності, кількості рідких страв, що вживає особа. Нормою для дорослої людини з помірним фізичним навантаженням, яка проживає в м'якому кліматі, вважають 1,5–2,5 л рідини щодня. Очевидно, що фізично більш активні люди (спортсмени, вантажники), ті, хто працює у спекотних умовах (поряд із печами, на відкритому повітрі влітку), повинні вживати більше води.

Окрім рекомендацій, що їсти, є й поради, як їсти. Найкраще споживати їжу частіше й невеликими порціями, як зголоднієш. Це позбавляє неприємних відчуттів від переїдання, а також підвищує ефективність травлення та всмоктування поживних речовин. Найоптимальнішим способом приготування їжі є варіння чи обробка парою. За такого способу обробки зменшується ризик утворення небезпечних для здоров'я речовин, що виникають під час контакту компонентів страв із розжареними поверхнями (пательнею, деко) чи відкритим вогнем (якщо готувати на грилі). Смажити ж найкраще на рослинній олії, оскільки вона містить ненасичені жирні кислоти, що є більш корисними. Утім при тривалому нагріванні рослинної олії внаслідок окиснення утворюються небезпечні альдегіди, тому використану олію потрібно виливати.



Рис. 33.5. Заправлений рослинної олією салат із сезонних овочів є рекомендованою стравою здорового щоденного раціону

Транс-жири: чим менше, тим краще

У природних нейтральних жирах, особливо в рослинних оліях, містяться залишки ненасичених жирних кислот, у складі яких наявний один або декілька подвійних зв'язків між атомами Карбону. У більшості жирів залишки ненасичених жирних кислот перебувають у цис-формі. У той же час карбонові ланцюги відходять із одного боку від подвійного зв'язку, що робить молекулу вигнутою (рис. А). Однак бактерії рубця жуйних тварин можуть утворювати й транс-ізомери ненасичених жирних кислот. Тоді карбонові ланцюги відходять із різних боків, а молекула не має вигину (рис. Б). Через це в деяких продуктах тваринництва (масло, молоко, м'ясо великої рогатої худоби) наявний високий уміст транс-жирів — нейтральних жирів із залишками ненасичених транс-жирних кислот.

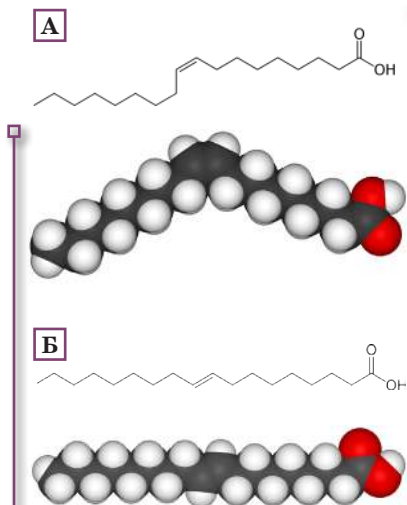


Рис. А. Олеїнова кислота (цис-ізомер).

Рис. Б. Елаїдинова кислота (транс-ізомер).

Однак іще більше їх у штучно гідрогенізованих (гідрованих) рослинних оліях. У процесі гідрогенізації відбувається приєднання атомів Гідрогену до подвійного зв'язку, і рідкі жири із ненасиченими жирними кислотами перетворюються на тверді з насиченими. Але при цьому через особливості механізму каталізу утворюється до 40 % транс-жирів. Штучно отримані тверді жири (наприклад, маргарин) є дешевшими за природні (сало й вершки), тому їхнє використання є вигіднішим. Особливо широко такі жири застосовують у харчовій промисловості для виготовлення солодоців, печива, чіпсів і снєків, у яких їхній уміст сягає 30 г на 100 г продукту! Крім того, вони використовуються під час смаження, особливо в закладах швидкого харчування.

У середині ХХ ст. з'ясувалося, що транс-жири негативно впливають на здоров'я людини. До кінця не є зрозумілим, як це відбувається, але достовірно визначено, що ризик ішемічної хвороби серця зростає удвічі при збільшенні вмісту транс-жирів у раціоні на 1 % відносно маси вуглеводів. Вони спричиняють розвиток інфаркту, цукрового діабету II типу, раку, ожиріння, пошкодження печінки, послаблення імунітету та пришвидшують старіння.

ВООЗ рекомендує мінімізувати їх уживання людьми, а в багатьох країнах узагалі заборонено використовувати ці речовини під час виготовлення харчової продукції. Ба більше, виробники зобов'язані маркувати продукти, що містять транс-жири, та зазначати їхній уміст. В Україні, на жаль, подібні заходи відсутні.

Елементарно про життя

■ 1. Компонентом здорового способу життя НЕ є

- А щоденна гра на комп'ютері
- Б відвідування уроків фізичної культури
- В уживання трьох мандаринів щодня
- Г відмова від штучно вироблених солодких напоїв

■ 2. Яка зі схем фізичної активності дорослої людини відповідає рекомендаціям ВООЗ?

- А вечірня 15-тихвилинна пробіжка парком у будні
- Б тренування з шосейного велоспорту двічі на тиждень по 1,5 години
- В двогодинна гра в настільний футбол з друзями й подругами щосуботи
- Г 20-хвилинне вигулювання собаки в парку щоранку

■ 3. Якого з наведених продуктів слід уникати в здоровому раціоні?

А буряка Б апельсинового соку В квашеної капусти Г ковбаси

■ 4. Уживання свіжих овочів сприяє

- А зменшенню надходження вуглеводів
- Б розвитку йододефіциту
- В надходженню вітамінів до організму
- Г збільшенню калорійності їжі

■ 5. Увідповідніть поживні речовини із їхнім умістом у щоденному здоровому раціоні.

- | | |
|---------------------|---|
| 1 жири | А 350–450 г |
| 2 кухонна сіль | Б менше 5 г |
| 3 короткі вуглеводи | В не більше 10 % від загальної калорійності |
| 4 білки | Г до 120 г |
| | Д не більше 30 % від загальної калорійності |

У житті все просто

■ 6. Поясніть, чому забезпечення ЗСЖ є ціллю сталого розвитку? Як впливає нездорове населення Землі на раціональне природокористування?

■ 7. Доведіть або спростуйте думку, що заняття будь-яким видом спорту сприяють підтриманню здоров'я.

■ 8. Узагальніть у вигляді таблиці всі риси здорового раціону. Перевірте власний набір щоденних страв на відповідність цим рекомендаціям і, за потреби, відкорегуйте його.

У житті не все просто

■ 9. У чому полягає небезпека вживання червоного м'яса великих травоядних тварин і продуктів, виготовлених із нього?

Проект для дружної компанії

■ 10. Порівняйте витрати й ефективність впливу на здоров'я відвідин тренажерного залу три рази на тиждень і вживання щодня таблетки полівітамінного препарату. Поділіться своїми розрахунками в класі. Якій поведінці ви віддали би перевагу?

Харчова гігієна — запорука уникнення харчових інфекцій і розладів травлення

За даними ВООЗ щороку від заражених бактеріями продуктів харчування вмирає майже 2 млн людей. Для того, щоб уникнути харчових інфекцій і розладів травлення, потрібно дотримуватися основних правил харчової гігієни. Продукти харчування, що ви купуєте, повинні бути свіжими й не протермінованими, зберігатися в належних умовах, мати непошкоджену упаковку. Інакше гарантувати те, що продукт безпечний для здоров'я, стає складно.

Перед початком приготування чи споживання їжі потрібно ретельно вмити руки. Також очищення потребують усі робочі поверхні (стіл, дошка для різання), посуд і кухонне приладдя й самі продукти харчування. Особливо ретельного мити треба ті продукти, що були зібрані чи викопані із землі або не мають упаковки. Варто зауважити одразу, що вода для миття й куховаріння, має відповідати гігієнічним стандартам: бути чистою й продезинфікованою.

Джерелом інфекції можуть бути комахи чи домашні тварини. Тому потрібно унеможливити їх контакт із їжею, посудом і кухонними поверхнями. Сирі продукти, особливо м'ясо, морепродукти, овочі, треба зберігати окремо від готових страв — у інших контейнерах чи на інших полицях. Крім того, не варто використовувати одне й те ж немите кухонне приладдя для роботи з сирими і готовими продуктами (рис. 34.1).

Щоб забезпечити продукти від псування й розвитку на них шкідливих мікроорганізмів, готові страви мають зберігатися за температури, нижчої за +5 °С. При цьому час їхнього перебування за кімнатної температури потрібно мінімізувати. В умовах холоду розмноження мікроорганізмів значно сповільнюється, але не припиняється повністю, тому не варто тримати готову їжу в холодильнику більше кількох днів. Також розморожувати продукти найкраще, не відкриваючи упаковки (якщо вона є). Робити це можна в гарячій воді чи мікрохвильовій печі. Так пришвидшиться процес і зменшиться час на розмноження шкідливих бактерій і грибків у продукті.



Рис. 34.1. Харчова гігієна

А. Готові страви зберігають у холодильнику в контейнерах, що дозволяє уникнути контакту між ними й сирію їжею, а також сповільнює їхнє висихання. **Б.** Використання різних дошок для обробки овочів, що подаватимуться свіжими, і м'яса, дозволяє уникнути перенесення бактерій між стравами. **В.** Використання кухонного термометра дає змогу контролювати температуру в середині страви.

Для підтримання тіла в здоровому стані потрібно регулярно мити руки, шкіру, волосся й чистити зуби

Однією із найважливіших навичок особистої гігієни є вміння доглядати за чистотою свого тіла. Оскільки основним органом, що забезпечує контакт людини із довкіллям є шкіра, то й догляд за нею має дуже важливе значення. Миття рук є надзвичайно потрібною дією, що знижує ризик зараження кишковими й респіраторними інфекціями на понад 30 %. Для миття обов'язково треба користуватися милом і чистою водою, воно повинно тривати 20–30 секунд і бути ретельним¹. При цьому чистими мають стати не лише внутрішні частини долоні, але й зовнішні та місця між пальцями. Найважливіше мити руки після повернення з вулиці, відвідин туалету, брудної роботи (прибирання, роботи в саду, гаражі тощо) та перед їжею (рис. 34.2).

Шкіра решти тіла потребує щоденного однократного очищення під час приймання душу чи миття у ванній². Однак наразі в дерматології немає одностайної думки щодо частоти миття — дехто з наукової спільноти вважає, що достатньо лише щоденного миття під пахвами, сідниць, ділянки між ногами, геніталій і стоп, оскільки розвиток патогенних мікроорганізмів у цих частинах тіла є найбільш імовірним. Під час миття краще використовувати неантибактеріальне мило, що дозволить нормальній шкірній мікрофлорі швидше відновитися.

Частота миття голови залежить від швидкості забруднення волосся. Якщо в людини жирне волосся, то це можна робити щодня, якщо ж сухе — то раз на тиждень. Важливо, щоб шампунь, який ви використовуєте, не спричиняв появу лупи, пересушування чи пошкодження волосся. Разом із миттям голови медична спільнота радить мити й вуха, щоб видаляти вушну сірку й бруд, які можуть закупорювати слуховий прохід.



Рис. 34.2. Колонії бактерій, що вирости на поживному середовищі, після притискання до нього мобільного телефону

Перед їжею обов'язково треба мити руки й не користуватися телефоном під час харчування.

Чистити зуби потрібно не менше двох хвилин двічі на день. При цьому рештки їжі необхідно «вимити» із щілин між зубами та з язика, а жувальну поверхню зубів чистити круговими рухами. Зубна нитка також є ефективним способом очищення проміжків між зубами. Через накопичення бактерій і зниження пружності щетинок зубну щітку рекомендовано змінювати кожні три місяці. І двічі на рік із метою профілактики хвороб ротової порожнини необхідно відвідувати стоматолога чи стоматологиню. Засоби гігієни — зубна щітка, рушники, бритви для гоління — завжди мають бути індивідуальними.

¹ Не забувайте під час намилювання закривати воду!
² Нетривале миття в душі (10–15 хв.) є у кілька разів більш водоекономним порівняно з прийманням ванни, тому краще відповідає цілям сталого розвитку.



Чистота та зручність одягу й взуття є умовою тілесного здоров'я

Важливе значення для здоров'я має якість гардеробу й взуття, а також чистота приміщення, у якому проживає людина. Одяг повинен захищати тіло від таких несприятливих факторів, як-от: ультрафіолетове випромінювання, низькі чи високі температури, забруднювачі. Він має бути зручним, пасувати за розміром. Також найкраще використовувати одяг, виготовлений із натуральних тканин, оскільки вони добре пропускають водяну пару і всмоктують піт, що перешкоджає розвитку шкідливої мікрофлори. Його потрібно регулярно прати, й робити це треба до появи неприємного запаху від нього. Останнє свідчить про те, що бактеріальна й грибкова мікрофлора вже розмножилася між волокнами тканини.

Взуття, як і одяг, має відповідати формі й розмірам тіла, бути зручним. Для профілактики плоскостопості й викривлень хребта краще зменшити час носіння взуття на плоскій підшві, якомога частіше ходити босими ногами по нерівній поверхні, робити спеціальні вправи, які дозволять зробити м'язи стопи більш витривалими (рис. 34.3).



Рис. 34.3. Катання м'яча або округлого предмета під час сидіння є ефективним способом профілактики плоскостопості

Спеціалісти й спеціалістки в галузі гігієни радять щодесять днів міняти постільну білизну, а подушки чистити як мінімум двічі на рік. Приміщення, де працює чи знаходиться людина, потрібно щоденно провітрювати для зменшення в повітрі концентрації мікроорганізмів, твердих частинок і вуглекислого газу. Крім того, щотижня бажано позбуватися пилу й робити вологе прибирання. У місцях масового скупчення людей (школи, офіси, громадський транспорт) вологе прибирання має здійснюватися щодня. Ковдри, покривала, килими варто вибивати чи здавати до хімчистки принаймні двічі на рік. Ці дії дозволять уникнути поширення й розмноження хвороботворних паразитів.

Відпочивати потрібно щогодини, щоночі й один день на тиждень

Ще одним компонентом ЗСЖ є відпочинок. Науково доведено, що втома негативно позначається на імунитеті й обміні речовин, ефективності виконання розумових операцій, зосередженості. У стомлених людей частіше проявляється поганий настрій, небажання вступати в соціальні контакти, виконувати якісно роботу, самовдосконалюватися. Щоб цього уникнути, потрібно робити перерви на 5–10 хвилин кожної робочої години. Крім того, рекомендованою тривалістю робочого дня є 8 годин (без урахування часу обідньої перерви). Вечірній час краще присвятити заняттям спортом,

спілкуванню в родинному колі та з друзями й подругами, прогулянкам на свіжому повітрі, оскільки зміна виду діяльності й активний відпочинок пришвидшують відновлення сил. І як мінімум один день на тиждень має бути вихідним.

Оскільки добові біологічні ритми (про них ішлося у § 11) властиві й людині, то в нічний час знижується активність роботи всіх систем організму, а разом із тим і продуктивність праці. Тому, для зменшення виснаження організму й відновлення його високої працездатності, кожна людина має регулярно спати вночі. Для підлітків найоптимальнішим є сон тривалістю 9–10 годин, а для дорослих — 8–9 годин. Бажано, щоб спання не переривалося, бо лише за умов тривалого сну ресурси організму встигають повністю відновитися. При цьому варто пам'ятати, що нестачу сну неможливо компенсувати згодом, тобто тиждень понаднормового спання не відновить повністю втрат організму, спричинених тижнем недосипання (рис. 34.4). Найкраще лягати спати до півночі, але не треба забувати й про свій хронотип («жайворонок», «сова» чи «голуб»): лягати спати й прокидатися варто із його урахуванням.



Рис. 34.4. Інемури — японська традиція сну в громадських місцях чи на роботі

У японському суспільстві поширеним є явище понаднормової роботи, що спричиняє нестачу сну в робітників і робітниць. Намагаючись її компенсувати, люди сплять у кожний вільний момент часу.

Сильний чи тривалий стрес становлять загрозу життю й здоров'ю людини

За умови впливу на людину несприятливих чи потужних чинників, у неї, як і в багатьох тварин, розвивається реакція стресу. Стрес¹ — це неспецифічна² нейрогуморальна реакція організму, що розвивається у відповідь на дію сильного подразника. Такими подразниками можуть бути екстремальні умови довкілля (холод, гучний звук), порушення організму (травма, інфекція), вплив хімічних речовин (алкогольне чи наркотичне сп'яніння), емоційні переживання (страх, радість). Завдяки стресу організм мобілізує ресурси: під дією нервової системи й гормонів зростає частота серцебиття, кров'яний тиск і рівень глюкози в крові, активізується обмін речовин у м'язах і нервовій системі, пришвидшуються імунні реакції. Основними гормонами, що беруть участь у цьому процесі є адреналін і норадреналін. Цю фазу стресу називають стадією тривоги (рис. 34.5). Згодом, під дією кортикостероїдних гормонів опірність організму до дії подразника досягає максимуму за рахунок перебудов на рівні окремих тканин і органів. Наприклад, збільшується кількість еритроцитів

¹ Від англ. *stress* — напруга.

² Неспецифічність у цьому випадку означає, що реакція має однакові механізми й прояви незалежно від чинника, що її спричинив.

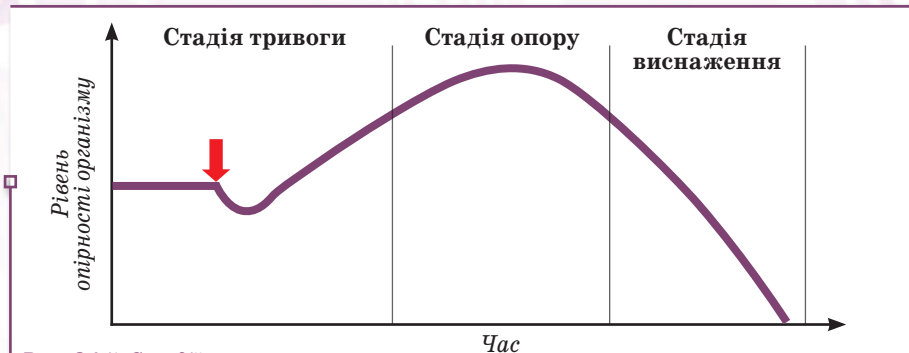


Рис. 34.5. Стадії стресу

Під дією стрес-фактора (червона стрілка) загальна опірність організму зменшується. Але регуляторні системи швидко компенсують це і, мобілізувавши ресурси організму, поступово підвищують рівень супротиву. Якщо дія стресового чинника не припиняється, то з часом, через виснаження ресурсів, опірність починає спадати, що може навіть спричинити загибель організму.

у крові, зростає м'язова витривалість. Однак, через певний час резерви організму вичерпуються й настає стадія виснаження, коли рівень опірності починає спадати. Тому стрес є ефективним механізмом пристосування до життєвих «несподіванок», лише якщо не триває занадто довго.

Стрес може становити небезпеку для людини. По-перше, реакція організму на подразник буває надмірною чи спотвореною. У такому випадку органи можуть не витримати навантаження: нерідко під час стресової ситуації люди вмирають від інсультів чи інфарктів — їхні судини не витримують тиску, що виникає, і розриваються. По-друге, тривала дія стресового подразника спричиняє порушення в організмі. Здебільшого, тривалий стрес має психологічну чи соціальну природу і виникає, коли люди не задоволені своїми умовами життя й роботи, рівнем оплати праці, відносинами в колективі чи з близькими, дискримінацією або перевтомлюються. Такий стрес є причиною розвитку хронічних порушень в організмі (гіпертензії, атеросклерозу, появи виразки шлунку), а також спричиняє зниження імунітету. У психоемоційній сфері в людини проявляються порушення сну, дратівливість, депресія, хронічна втома, з'являються неврози, болі, що мігрують, можливі істеричні напади. Для уникнення цих наслідків потрібно якнайшвидше відшукати причини стресу й намагатися їх уникати, витратити більше часу на відпочинок і дії, що приносять радість. При цьому не варто гребувати допомогою родини, друзів/подруг, учительства, спеціалістів і спеціалісток: в Україні діє ряд цілодобових центрів психологічної допомоги, куди можна звернутися лише зателефонувавши.

Таким чином, стрес є природною захисною реакцією організму на сильний подразник, властивою не лише людям, але й тваринам. І хоча здебільшого стрес є корисним для організму, людям варто уникати частих, надмірних і тривалих стресів.

Елементарно про життя

- 1. Оберіть дію, що забезпечить людину від зараження глистами.
А варіння м'яса в киплячій воді протягом 30 хвилин
Б уникнення тривалого збереження готових страв у холодильнику
В купівля продуктів, у яких ще не закінчився термін придатності
Г розморожування овочевої суміші в киплячій воді
- 2. Скільки часу на добу рекомендовано відпочивати дорослій людині?
 А 5–10 хвилин Б 8-9 годин В 9-10 годин Г 16 годин
- 3. Для попередження плоскостопості потрібно
А ходити босим Б тренувати м'язи пресу
В їсти м'ясо Г ходити у взутті без підборів
- 4. Міняти постільну білизну рекомендовано
А щодня Б щотижня В тричі на місяць Г раз на два місяці
- 5. Розгляньте графік на *рисунку 34.5* і визначте, коли опірність організму найшвидше зростає.
А на стадії тривоги Б на стадії опору
В на стадії виснаження Г до дії стресового подразника
- 6. У відповідність дію, пов'язану із підтриманням чистоти тіла, і рекомендовану частоту її виконання.

1 чищення зубів	А раз на рік
2 миття тіла	Б 3-4 рази на рік
3 зміна зубної щітки	В раз на тиждень
4 миття сухого волосся	Г раз на день
	Д двічі на день

У житті все просто

- 7. Дослідіть процес приготування їжі, яку ви вживаєте, на відповідність правилам харчової гігієни. Якщо ви помітите невідповідності, то запропонуйте необхідні заходи, що можуть сприяти покращенню гігієни.
- 8. Розробіть пам'ятку «Чисте тіло — запорука здоров'я». Поширте її серед учнів і учениць молодшого віку вашого чи розташованого поряд закладу середньої освіти.

У житті не все просто

- 9. Які ознаки тривалого стресу? Чи може людина самостійно визначити, що перебуває в такому стані?
- 10. На фармацевтичному ринку є препарати, що у своїй назві містять слово «антистрес». Проаналізуйте їхній склад та фармакологічну дію. Чи дійсно вони допомагають боротися з наслідками стресу?

Проект для дружньої компанії

- 11. Проаналізуйте свій щоденний побут на його відповідність принципам здорового способу життя. Розробіть проект оздоровлення свого життя.

§ 35. Алкоголь, тютюн, наркотики і здоров'я

Алкоголь у будь-яких кількостях негативно впливає на організм

Напевне, найвідомішою рисою ЗСЖ є відмова від уживання алкоголю та наркотиків, а також від куріння. Надзвичайно поширеною у світі згубною звичкою є споживання алкогольних напоїв, що містять етанол (етиловий спирт) (рис. 35.1). Згідно зі статистикою ВООЗ щороку кожна двадцята людина на планеті, а це понад 300 млн людей, гине через негативний вплив алкоголю на організм. В Україні щодня від наслідків уживання алкоголю помирає кілька десятків людей, а за рік — майже 40 тис. осіб. За даними досліджень, близько 40 % українських підлітків регулярно його вживають.

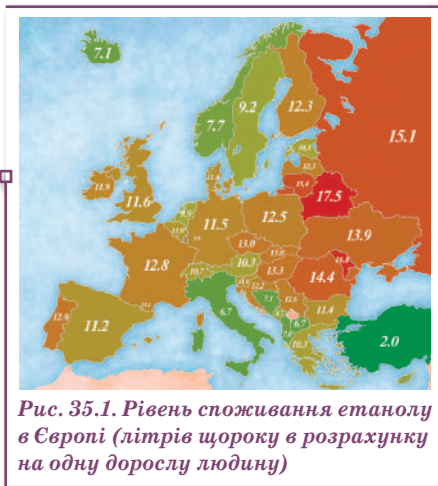


Рис. 35.1. Рівень споживання етанолу в Європі (літрів щороку в розрахунку на одну дорослу людину)

Понад 200 порушень як фізичного (зокрема раку, хвороби серцево-судинної системи, порушення роботи печінки), так і психічного й соціального благополуччя пов'язані з алкоголем. Уживання етанолу часто є причиною побутового травматизму, бійок, дорожньо-транспортних пригод, самогубств. Також доведено: вживання алкогольних напоїв є чинником, що сприяє поширенню деяких інфекційних хвороб, наприклад, туберкульозу чи ВІЛ/СНІД. Надважливим є розуміння, що безпечних доз алкоголю не існує: уживання етилового спирту в будь-яких кількостях згубно впливає на організм.

Під час споживання етанолу в головному мозку концентрація спирту стає більшою, ніж у крові. Алкоголь впливає на гальмівні рецептори нейронів, що спричиняє розслаблення м'язів і відчуття сп'яніння. Через активацію утворення нейромедіатору¹ дофаміну й ендорфінів п'яна людина починає відчувати ейфорію. Утім координація рухів, швидкість реакції, уважність, ступінь самоконтролю значно знижуються, тому п'яні люди є більш суспільно небезпечними й конфліктними. За постійного вживання спирт є причиною загибелі нейронів головного мозку, розриву мозкових капілярів і значно збільшує ризик інсульту.

У травному тракті етанол порушує слизову оболонку, погіршує всмоктування води й мінералів, що є причиною проносу. Ризик запалення слизової оболонки шлунку й кишківника значно зростає в разі вживання алкогольних напоїв, що веде до розвитку гастритів і виразок. У численних дослідженнях доведено, що етиловий спирт підвищує ризик розвитку раку стравоходу, шлунку й прямої кишки вдвічі.

¹ Нейромедіатори — це речовини, що передають нервовий імпульс від нейрона до нейрона в синапсах.

Оскільки органом, що детоксифікує етанол, є печінка, то й страждає вона навіть від однократного вживання алкогольних напоїв. За тривалого ж прискорюється загибель клітин печінки й виникає цироз, коли місця мертвих клітин заповнює волокниста сполучна тканина (рис. 35.2). Через це погіршується функціонування печінки, що позначається й на процесах травлення.



Рис. 35.2. Моделі нормальної (ліворуч) та ураженої цирозом (праворуч) печінки

Через порушення складу крові в людей, які вживають алкоголь, стінки судин кровоносної системи стають менш еластичними, тому ризик атеросклерозу, аритмії, інсультів зростає. Крім того, змінюється структура серцевого м'язу, що провокує серцеву недостатність та інфаркт.

Спирт здатний проникати в статеві органи і впливати на їхні клітини. Вживання алкоголю під час вагітності є причиною алкогольного синдрому плода, унаслідок якого народжуються діти з порушеннями фізичного й розумового розвитку, які навіть у дорослому віці погано контролюють емоції, часто поводяться асоціально.

Систематичне вживання алкогольних напоїв є причиною алкоголізму — фізичної й психічної залежності від етанолу. Алкозалежні люди вже не можуть відмовитись від уживання спиртних напоїв і потребують лікування.

Тютюнокуріння завдає удару по фізичному, психологічному й соціальному благополуччю

Тютюнопаління є не менш розповсюдженою шкідливою звичкою. Близько 7 млн людей (майже 20 % із них жінки) щороку вмирає від причин, пов'язаних із курінням тютюну. При цьому трохи менше 1 млн — це люди, що не палять, а лише дихають тютюновим димом (пасивні курці), бо знаходяться поряд із тим, хто палить. Пасивними курцями є 40 % усіх дітей світу! Понад 6 млн українців курять щодня (і 30 % підлітків) й 120 тис. гине від причин, пов'язаних із цим, що забезпечує Україні 17 місце серед країн-лідерів за кількістю людей, що палять, і друге місце за кількістю підлітків, що курять. Збитки держави від тютюнопаління становлять понад 2 млрд доларів США щороку!

Небезпека паління полягає в тому, що з понад 4000 речовин, які має в собі тютюновий дим, 250 є отруйними, а близько 50 — канцерогенами, що спричиняють розвиток злоякісних пухлин. При цьому отруйні речовини містяться як у диму звичайних сигарет, так і в диму електронних сигарет і кальяну.

Найбільше негативний вплив тютюнокуріння проявляється в скороченні тривалості життя: люди, що курять із підліткового віку в середньому вмирають на 20–25 років раніше за тих, які не палили ніколи. Загалом половина курців і курчин вмирає передчасно.

Достовірно відомо, що паління значно підвищує ймовірність розвитку раку: у понад 20 разів зростає частота появи раку легень і у 2–10 разів розвиток раку інших органів дихальної, травної, видільної, статеві систем. Дихальна система є тим місцем, що уражається сигаретним димом насамперед. Через накопичення смол, вплив отруйних речовин у людей, які палять, виникає постійне запалення бронхів (хронічний бронхіт) і руйнування структури комірок легень — альвеол, що має назву емфізема (рис. 35.3). Через ці порушення дихальні можливості легень знижуються, у людини з'являються задишка й хронічний кашель, що з часом прогресують.

Не меншої шкоди завдає куріння й кровоносній системі. У хронічних курців і курчинь зростає вміст холестерину в крові, а також погіршується його транспортування, що є причиною почастишання атеросклерозу. Через стимулювальну дію нікотину кров'яний тиск у артеріях є вищим за норму — у людей, що курять тютюн, розвивається гіпертензія. Ці чинники сприяють значному зростанню ризику розриву стінок судин і крововиливів, унаслідок яких виникають інфаркти та інсульти. Тому в курців, старших за 40 років, у п'ять разів частіше трапляються інфаркти, ніж у людей того ж віку, що не палять.

Тютюновий дим уражає ротову порожнину, тому в курців і курчинь частіше виникають хвороби зубів і ясен. Згідно зі статистикою втрата зубів серед людей, що палять, відбувається у 2-3 рази швидше, ніж у тих, хто не палить. Через зниження імунітету курці й курчині, частіше страждають від інфекційних хвороб, особливо тих, що передаються повітряно-крапельним шляхом і уражають дихальну систему. У тих, хто палить, частіше випадає волосся на голові, розвивається псоріаз, швидше старіє шкіра, жовтішають зуби й нігті (рис. 35.4).

Люди, що курять, мають порушення психічного та соціального благополуччя: вони частіше розлучаються, у них вищий рівень стресу, швидше починається зниження рівня інтелекту та розвиток шизофренії. Наявність нікотину в димі спричиняє появу фізичної й психічної залежності, тому самостійно відмовитись від тютюнокуріння важко.



Рис. 35.3. Зовнішній вигляд легень і серця здорової людини (ліворуч) і людини, що курить тютюн (праворуч)



Рис. 35.4. Зміни зубів (А) і пальців із нігтями (Б) у хронічних курців

Паління тютюнових виробів негативно впливає й на репродуктивне здоров'я¹. Жінки, що палять, порівняно з тими, які цього не роблять, мають більшу ймовірність безпліддя та проблем із вагітністю. Вдихання тютюнового диму під час вагітності значно підвищує ризик передчасних пологів, мертвонародження, розвитку фізичних і розумових вад у дитини. У чоловіків куріння підвищує на 85 % ймовірність імпотенції та погіршує якість сперми, що може бути причиною розвитку порушень у плоду.

Відмова від тютюнопаління в будь-якому віці має лише позитивні наслідки для організму. Але його повне

відновлення потребує часу, подекуди понад 10 років. Крім того, припинення тютюнопаління збільшує середню тривалість життя: чим раніше людина відмовиться від тютюну, тим більше років вона проживе (рис. 35.5).

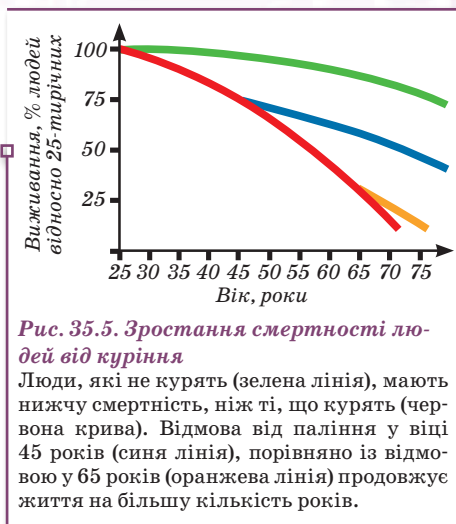


Рис. 35.5. Зростання смертності людей від куріння

Люди, які не курять (зелена лінія), мають нижчу смертність, ніж ті, що курять (чорна крива). Відмова від паління у віці 45 років (синя лінія), порівняно із відмовою у 65 років (оранжева лінія) продовжує життя на більшу кількість років.

Уживання наркотичних речовин є смертельно небезпечним

Наркотики — це група речовин, що впливають на центральну нервову систему, використовуються з немединою метою й унесені до спеціального списку наркотичних речовин. Більшість із цих сполук діє на систему винагород в головному мозку й посилює відчуття задоволення. Надмірна її стимуляція спричиняє зменшення утворення природних нейромедіаторів дофаміну й серотоніну чи зниження чутливості до них — виникає звикання. І, щоб гарно почуватися, наркоману чи наркоманці потрібно приймати нові, збільшені, дози наркотику. У людини з'являється залежність, спочатку психічна, а згодом і фізична. Тепер без наркотиків організм функціонує неправильно. Тому в процесі відмови від наркотичної речовини, як і у випадках із алкоголем і тютюнокурінням, виникає синдром відміни («ломка»), що проявляється в значному погіршенні стану організму. Часто для того, щоб пережити цей синдром, пацієнту чи пацієнтці потрібна медична допомога.

В Україні за приблизними оцінками 1,5–2 млн осіб уживають наркотики, при цьому близько 350 тис. людей колють їх собі у вену. Проведені опитування серед українських підлітків виявили, що близько 10–20 % із них пробували наркотик хоча б один раз у житті.

Навіть одноразове вживання наркотику спричиняє підвищення артеріального тиску, пришвидшення серцебиття, рухове збудження, що можуть стати причиною інфаркту чи інсульту. Тривале вживання наркотичних речовин

¹ Здатність зачати й народити здорову дитину.

сприяє розвитку гіпертензії, посилює злипання тромбоцитів, що веде до утворення тромбів і закупорки судин, порушує роботу печінки, спричиняє болі в м'язах, тривалі діареї, посилює алергічні реакції. Через постійний вплив наркотику структури мозку поступово змінюються, що спричиняє порушення психіки.

Зниження імунітету внаслідок порушення кровотворення й роботи імунних механізмів захисту (детальніше про них ітиметься у § 38) є причиною частих інфекцій у людей, що вживають наркотики. Особливо яскраво це проявляється в епідемії ВІЛ: більше половини наркозалежних людей світу, які вводять наркотики шприцом у вену, заражені цим вірусом.

Наркотичні речовини здатні проникати крізь плаценту в кров плоду й спричиняти порушення його розвитку, викидні та передчасні пологи. Понад те, діти, народжені матерями, що вживають наркотичні речовини, більш схильні до асоціальної поведінки, уживання алкоголю й наркотиків.

Часто наркотичні препарати не є чистими речовинами, а забруднені численними домішками. Уведення таких препаратів, особливо в кров, може спричинити загальне отруєння організму, порушення роботи кровоносної системи, печінки й нирок, смерть (рис. 35.6). Подібні ефекти спостерігаються й під час потрапляння до організму надмірних доз наркотичних речовин: оскільки будь-який наркотик є отрутою, то у разі передозування ним функціонування тіла порушується, і це може спричинити летальні наслідки.

Через наркотики порушується психічна й соціальна поведінка людей. Споживачі наркотиків погано контролюють свої дії, беземоційні й апатичні, мають ослаблену волю, їхні інтелектуальні здібності й здатність до навчання погіршуються. Часто в них виникає психоз¹ — порушення сприйняття дійсності й реакції на неї. У пошуках «легких» грошей на нову дозу, люди, які вживають наркотики, стають злодіями, а деякі навіть убивцями. І хоча позбутися шкідливих звичок не легко, це є єдиним шляхом до здорового способу життя, довголіття й щастя свого і своїх нащадків!



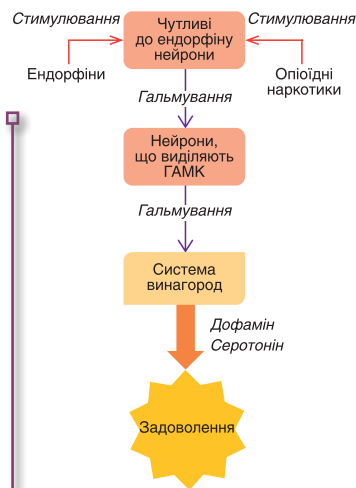
Рис. 35.6. Забруднений кокаїн спричиняє ураження шкіри

Кокаїн, розбавлений протиглистним препаратом левамизолом, викликає запалення судин (васкуліт), унаслідок якого відмирають ділянки шкіри (А) чи на ній формуються виразки (Б).

¹ Від грец. *psyche* — душа й *osis* — порушення.

Як психоактивні речовини спричиняють залежність

Мозок людини — це унікальна структура між вухами, що безпосередньо керує нашою поведінкою. Для того, щоб виникало бажання ще раз відчуття дію позитивних для організму чинників (наприклад, смачної їжі), а також формувалося відчуття задоволення від них, у головному мозку є спеціальна система винагород. Її основою є нервові центри середнього мозку й підкоркові центри переднього мозку, передача збудження між нейронами яких відбувається за допомогою нейромедiatorів дофаміну й серотоніну. Саме їх вивільнення в синапсах між нервовими клітинами системи винагород й викликає відчуття задоволення від перемоги на змаганнях, аплодисментів після виступу чи вишуканого десерту.



Психоактивні речовини «нелегальним» шляхом впливають на цю систему й стимулюють відчуття задоволення, а також мотивують відчуття його ще раз. Похідні амфетаміну й етанол діють прямолінійно: вони стимулюють вивільнення серотоніну й дофаміну до синаптичної щілини. «Хитріше» діють наркотики, подібні на кокаїн. Їхня дія спрямована на перешкоджання викачування нейромедiatorів винагороди із простору між нейронами. Через це серотонін і дофамін накопичуються в синаптичній щілині, викликаючи відчуття насолоди.

Опіїдні препарати діють на систему винагород опосередковано (див. *схему*). Задля того, щоб ця система не викликала надмірного відчуття задоволення, її контролюють спеціальні гальмівні нейрони, що виділяють нейромедiator γ-аміномасляну кислоту (ГАМК). А їх так само гальмують інші нейрони, чутливі до коротких пептидів — ендорфінів. Без останніх ми ризикували б постійно перебувати в стані депресії! Опіїдні наркотики мають схожу просторову структуру до ендорфінів, тому і зв'язуються з рецепторами чутливих до ендорфіну нейронів. Тоді останні починають гальмувати роботу гальмівних ГАМК-нейронів, а ті перестають гальмувати систему винагород, й виникає ейфорія.

Нейрони системи винагород, реагуючи на постійну стимуляцію, знижують свою чутливість шляхом зменшення кількості рецепторів до дофаміну й серотоніну в мембрані, а також завдяки їх інактивації. Подібні зміни відбуваються і з рецепторами ендорфінів у чутливих до нього нейронах. Також через непомірне використання запаси нейромедiatorів винагороди вичерпуються. Унаслідок, без психоактивних речовин у системі винагород стає замало «позитивних» дофаміну й серотоніну, наркоману чи наркоманці стає сумно й посилюється бажання прийняти нову дозу: сформувалася залежність.

Елементарно про життя

■ 1. Цироз печінки проявляється в

А зменшенні кількості речовин, які утворює печінка

Б погіршенні кровотворення в печінці

В підвищенні артеріального тиску в печінковій артерії

Г збільшенні утворення нейромедіаторів у печінкових нейронах

■ 2. На графіку, що наведений на *рисунку 35.5*, смертність людей (кількість, що помирає за одиницю часу), які палять,

А є меншою, за смертність тих, хто не палять **Б** спадає із віком

В залежить від відсотку людей, що не палять **Г** зростає із віком

■ 3. У чоловіків, що курять тютюн, найбільше зростає імовірність

А випадіння зубів **Б** імпотенції **В** психозу **Г** раку легень

■ 4. Передозування наркотиками небезпечно

А вимкненням мозкової системи винагород

Б надмірним навантаженням на організм

В розвитком синдрому відмови

Г розвитком ВІЛ-інфекції

■ 5. У відповідність негативний вплив алкоголю й орган, на який він здійснюється.

1 порушення слизової оболонки

2 атеросклероз

3 погіршення координації рухів

4 зміна структури міокарду

А дрібні артерії

Б серце

В печінка

Г кишківник

Д мозочок

У житті все просто

■ 6. Скориставшись даними, наведеними на *рисунку 35.1*, і знаннями з географії визначте, у яких країнах Європи найбільший рівень уживання алкоголю, а в яких — найменший. Спробуйте пояснити таку різницю на основі відмінностей у культурі, релігії, побуті.

■ 7. Поясніть, як зміни в складі крові в людей, що курять, збільшують ризик інфарктів та інсультів.

■ 8. Що спільного у впливі алкоголю, тютюну й наркотичних речовин на організм? Чим це зумовлене?

У житті не все просто

■ 9. Чому виникає синдром відміни? Чи може він проявлятися в новонароджених?

■ 10. Численні фільми й телесеріали присвячені проблемі алкоголю й наркотиків. Як ви вважаєте, чи варто знімати стрічки на цю тему? Подискутуйте на уроці щодо позитивного чи негативного впливу на суспільство таких творів мистецтва.

§ 36. Репродуктивне здоров'я

Інфекції, що передаються переважно статевим шляхом, негативно впливають на репродуктивне здоров'я

Репродуктивне здоров'я — це стан фізичного, психічного й соціального благополуччя в питаннях статевих стосунків, а також здатність зачати й народити здорову дитину. Одним із компонентів підтримання репродуктивного здоров'я, а разом із ним і ЗСЖ, є дотримання правил статевої безпеки. Вони дозволяють уникати зараження інфекціями, що передаються переважно статевим шляхом (ІППСШ)¹. ІППСШ — це понад 30 інфекційних хвороб, зараження якими відбувається найчастіше під час статевого контакту. Збудником ІППСШ можуть бути віруси, бактерії, одно- і багатоклітинні еукаріотичні паразити (табл. 36.1). Одразу варто зауважити, що деякі з цих інфекцій можуть поширюватися й іншими шляхами. Наприклад, вірус імунодефіциту людини (що спричиняє СНІД) і вірус гепатиту передаються при контакті з кров'ю інфікованої людини, зараження вошами й кліщами (збудниками педикульозу й корости відповідно), сифілісом, папіломою і герпесом може відбуватися й побутовим шляхом (через спільні рушники, постільну білизну, одяг), а сифіліс і хламідіоз передаються від матері до дитини.

Таблиця 36.1. Інфекції, що передаються переважно статевим шляхом

Природа збудника	Хвороби
Вірус	СНІД, папілома, генітальний герпес, гепатити В і С
Бактерія	Сифіліс, хламідіоз, гонорея, мікоплазмоз
Одноклітинний еукаріот	Трихомоніаз, кандидоз (молочниця)
Багатоклітинний еукаріот	Лобковий педикульоз (фтіріаз), короста

Зазвичай, ІППСШ проявляються свербіжем і гнійними виділеннями зі статевих органів, появою на них або на шкірі пухирів і виразок (рис. 36.1, А, Б), болісним сечовипусканням і болями в тазовій ділянці. Крім того, ВІЛ пригнічує роботу імунної системи, що відкриває шлях для розвитку раку й інших інфекцій, вірус гепатиту — уражає печінку і є причиною жовтяниці (рис. 36.1, В), а віруси папіломи людини — раку шийки матки (це другий за



Рис. 36.1. Симптоми ІППСШ

А. Папілома на шкірі повіки, спричинена вірусом. Б. Сифілітичні виразки на шкірі долонь. В. Жовтяниця під час гепатиту проявляється пожовтінням шкіри й білкової оболонки очей (склери).

¹ Застарілі назви цієї групи інфекцій — венеричні хвороби та ІПСШ.

поширеністю вид раку у світі, після раку молочних залоз). ІППСШ є причиною не тільки болів і дискомфорту, але й безпліддя та навіть смерті! Ба більше, вони значно підвищують ризик передчасних пологів, народження хворих дітей, розвитку порушень у плоді й мертвонародження, якщо ними заражена вагітна жінка.

Загалом у світі щороку кілька десятків мільйонів людей інфікується ІППСШ, із яких близько 400 тис. — в Україні (а це майже 1 % населення держави щороку!), не враховуючи ще 244 тис. випадків ВІЛ-інфікування. Розповсюдженням явищем у світі є дискримінація людей, які мають хвороби, що передаються статевим шляхом: їх уважають розпусними, такими, що працюють у індустрії сексуальних послуг, наркоманами й наркоманками. Негативний вплив дискримінації проявляється в їхньому небажанні звертатися за медичною допомогою чи здавати аналізи. А не дізнавшись свій діагноз, вони можуть продовжувати поширювати ІППСШ і, зрештою, померти.

Дотримання правил статевої безпеки захищає від ІППСШ

Існують кілька достатньо простих правил профілактики поширення ІППСШ. Задля забезпечення себе й інших людей, ВООЗ і деякі світові релігії рекомендують утримуватися від статевих стосунків до шлюбу й мати одного статевого партнера чи одну партнерку протягом усього життя. Завжди при статевому контакті з людиною, інфекційний статус якої невідомий, потрібно використовувати презервативи (рис. 36.2). Оскільки деякі інфекції можуть носити хронічний характер і мати менш виражені симптоми, то регулярне здавання аналізів і проходження медичних оглядів сприятиме виявленню інфекції й забезпеченню статевого партнера чи партнерки. Також варто перевіритися на наявність інфекцій після випадків підвищеного ризику: незахищеного статевого акту, контакту з кров'ю іншої людини, взаємодії з хворою особою. Не варто забувати, що за навмисне зараження людини ІППСШ у Кримінальному кодексі України передбачене покарання.

Бактеріальні ІППСШ досить ефективно лікуються антибіотиками¹, особливо на ранніх стадіях. Розвиток ВІЛ-інфекції за її вчасного виявлення можна зупинити завдяки антиретровірусній терапії, що в Україні є безоплатною. Зрештою, проти вірусу гепатиту В і папіломи є ефективні вакцини. Однак, що менш поширеною буде інфекція, то меншим буде ризик зараження нею, тому виконання правил статевої безпеки є необхідною навичкою сучасної здорової людини.

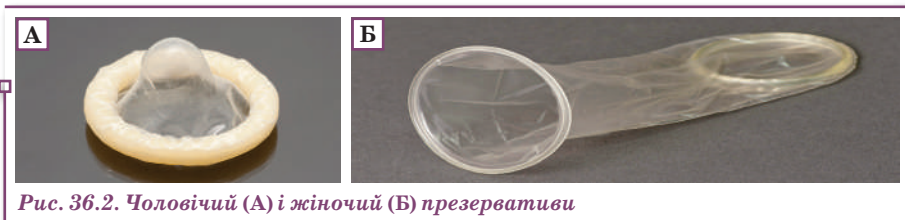


Рис. 36.2. Чоловічий (А) і жіночий (Б) презервативи

¹ Останнім часом через нераціональне використання антибіотиків і збільшення їхньої кількості в біосфері швидко зростає стійкість бактерій до них.

Планування вагітності й використання засобів контрацепції є шляхом до народження здорових дітей

Важливим чинником здоров'я майбутньої дитини та здорової вагітності є репродуктивне здоров'я її батьків. За кілька місяців до запланованої вагітності батькам варто повністю відмовитися від уживання алкоголю, тютюну й наркотиків, зменшити вплив небезпечних умов праці й стресових чинників, почати вживати більше вітамінів. Обом партнерам радять пройти повне медичне обстеження й особливо здати аналізи на наявність інфекцій, що можуть бути небезпечними для майбутньої дитини, а також перевірити наявність щеплення від краснухи. Якщо в родині батьків виявлялися спадкові хвороби, то їм варто відвідати медико-генетичну консультацію. Не менш важливими є психологічна й соціальна упевненість у бажанні мати дитину. А це означає, що батьки мусять усвідомлювати, які зміни відбудуться в їхньому житті під час вагітності й після народження дитини, бути готовими до них не лише матеріально, але й психологічно.

Батькам не варто забувати й про вплив віку: що старшою є мати, то більшим є ризик народження дитини із вадами хромосомного набору (рис. 36.3). Тому оптимальним для вагітності вважають вік жінки від 20 до 35 років.

Але далеко не всі вагітності є запланованими: за статистикою таких лише 55 %. Водночас більше половини незапланованих вагітностей у світі з тих чи тих причин перериваються! На жаль, близько 230 тис. вагітностей із 220 млн, що відбуваються щорічно, завершуються смертю дитини. Задля того, щоб уникнути небажаної вагітності, варто користуватися методами контрацепції (табл. 36.2). Найбільш ефективними з них є гормональні (рис. 36.4) й хірургічні. Вони потребують консультації з лікарем/лікаркою, бо мають побічні ефекти й протипоказання, а хірургічні вимагають операційного втручання. З огляду на запобігання поширенню ІППСШ найкращим є використання презервативів.

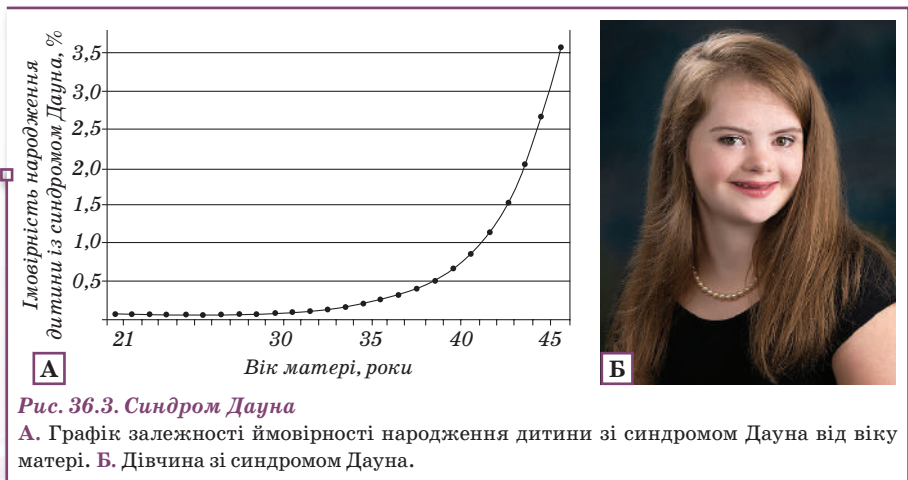


Рис. 36.3. Синдром Дауна

А. Графік залежності ймовірності народження дитини зі синдромом Дауна від віку матері. Б. Дівчина зі синдромом Дауна.

Таблиця 36.2. Методи контрацепції

Група методів	Суть методів	Приклади методів	Ризик завагітніти ¹
Природні (поведінкові)	Не потребують додаткових засобів	Календарний, перерваний статевий акт	4–40
Бар'єрні	Перешкоджають контакту гамет шляхом утворення фізичного бар'єру між ними	Презервативи, матковий ковпачок, діафрагма	2–20
Гормональні	Блокують дозрівання яйцеклітини; змінюють стан слизу в матці, що блокує рух сперматозоїдів та імплантацію ембріона	Оральні контрацептиви, гормональні ін'єкції й імпланти	0,1–1,4
Хімічні	Знищують сперматозоїди й перешкоджають їхньому рухові	Креми, свічки, спреї, що містять сперміциди ²	3–21
Хірургічні	Шляхом перерізання статевих протоків запобігають виходу гамет із статевих залоз	Вазектомія ³ й стерилізація жінок	0,01–0,4

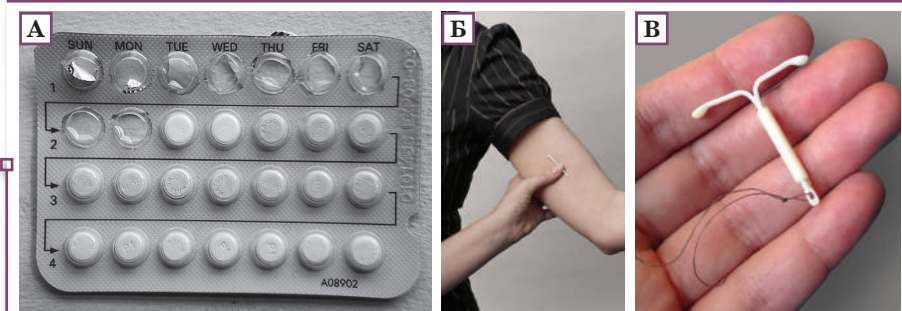


Рис. 36.4. Методи гормональної контрацепції

А. Особливістю оральних контрацептивів є необхідність їх прийому щодня приблизно в один і той же час. **Б.** Підшкірний імплант у вигляді чотирисантиметрової палички постійно вивільняє гормон у кров. **В.** Внутрішньоматкова спіраль є джерелом контрацептивного гормону протягом 3–5 років.

Підліткова вагітність є небезпечною для здоров'я

Не менш загрозливою є підліткова вагітність. Щорічно у світі вагітніють 7,3 млн дівчат віком до 18 років і 3 млн із них роблять аборт. На жаль, через неповну готовність організму дівчини-підлітка до вагітності, виношування дитини є вагомим фактором ризику для її здоров'я — підліткова вагітність є другою за поширенням причиною смерті дівчат віком від 15 до 18 років. Крім того, що дівчата-підлітки ризикують життям, вагітніючи занадто рано, також їм доводиться

¹ Зазначено діапазон індексу Перля — кількість вагітностей протягом року для 100 пар, що користуються певним методом контрацепції.

² Речовини, що вбивають сперматозоїди.

³ Перерізання статевих протоків у чоловіків.



Рис. 36.5. Використання ляльки-симулятора новонародженої дитини в освітній програмі віртуального батьківства

У Австралії, Канаді та США для попередження підліткової вагітності впроваджувалася програма віртуального батьківства, у якій підлітків навчали азам догляду за новонародженим за допомогою реалістичних ляльок-симуляторів. Однак виявилось, що це спричиняє збільшення кількості вагітностей серед підлітків, що брали участь у цій програмі, хоча й знижує рівень абортів.

відмовлятися від навчання чи здобуття професії. Але при цьому вони потребують грошей для забезпечення власних потреб і майбутніх потреб дитини. Батьківство вимагає також психологічної зрілості, якої часто не вистачає підліткам (рис. 36.5). Нестача взаємотерпимості та коштів, невміння вирішувати проблеми стають причинами конфліктів у молодих родинах і призводять до почастішання самогубств.

Аборт — передчасне переривання вагітності — підлітки роблять майже в половині всіх випадків. Неготовність ділитися проблемами з батьками й друзями, неприйняття суспільством дівчат-матерів спричиняють їхнє небажання звертатися за кваліфікованою медичною допомогою для здійснення абарту. Унаслідок цього, часто переривання вагітності здійснюється небезпечним способом, що може спричинити порушення роботи статевих органів, хронічну інфекцію, безпліддя, ба навіть смерть. У багатьох країнах світу аборти є забороненими й аморальними (з точки зору деяких релігій).

Від поведінки батьків під час вагітності й після народження дитини залежить здоров'я їхніх нащадків

Необхідною умовою народження здорової дитини є виконання рекомендацій щодо підтримання здоров'я під час вагітності. Майбутнім матерям варто уникати контакту з психоактивними речовинами (алкоголем, тютюновим нікотином, наркотиками), а також зменшити вживання кофеїну, оскільки ці речовини здатні проникати крізь плаценту й порушувати розвиток плоду (про можливі порушення йшлося в попередньому параграфі). Крім того, усі фармацевтичні препарати варто починати приймати лише після консультації з лікарем/лікаркою й ретельного вивчення інструкції. Для уникнення розвитку анемії та порушень плоду ВООЗ рекомендує вагітним жінкам уживати препарати, що містять Ферум і фолієву кислоту (вітамін В₉). Їжа жінки, що чекає на дитину, має бути

збалансованою, багатою на вітаміни й мінеральні речовини, а для цього бажано збільшити споживання свіжих фруктів і овочів. Однак жінкам не варто переїдати й обов'язково треба підтримувати нормальний рівень фізичної активності та гуляти на свіжому повітрі.

Вагітні повинні обов'язково здати аналіз на наявність небезпечних для них і дитини інфекцій (навіть якщо це було зроблено до вагітності!), а також регулярно (не менше чотирьох разів протягом вагітності) відвідувати спеціаліста чи спеціалістку з гінекології (рис. 36.6). Найкраще, щоб пологи відбувалися в присутності медичного спеціаліста/спеціалістки в лікарняних умовах.

Найкращим способом харчування новонародженого є грудне вигодовування. Річ у тім, що грудне молоко містить не лише всі необхідні для немовля поживні речовини, вітаміни й мінерали, але й антитіла, що забезпечують його захистом. Так, грудне молоко значно знижує ймовірність пневмонії та діареї, які є основними причинами смерті новонароджених у світі. Діти, які споживали грудне молоко протягом перших місяців життя, у дорослому віці менш схильні до ожиріння, рідше хворіють на діабет і демонструють кращі результати інтелектуальних тестів. Ба більше, грудне вигодовування зменшує ризик розвитку в матері раку грудей і яєчників, діабету II типу, післяродової депресії. Медична спільнота радить грудне молоко як єдине джерело їжі до шестимісячного віку немовляти. Лише після цього терміну потрібно вводити до раціону дитини тверду їжу. Продовжувати грудне вигодовування найкраще до дворічного віку.

Для здорового розвитку дитини важливими є набуття нею імунітету проти поширених хвороб шляхом вакцинації. Щеплення починають робити від першого дня після народження, при цьому найбільшу кількість доз вакцини маля мусить отримати до досягнення 1,5-річного віку.



Рис. 36.6. Ультразвукове обстеження під час вагітності

Метод ультразвукової діагностики дозволяє визначити відповідність параметрів розміру плоду термінам вагітності, відсутність порушень у розвитку, стан плаценти й матки.

Елементарно про життя

■ 1. Розгляньте карту поширення ІППСШ у світі, на якій що темнішим є колір, то більший відсоток заражених людей. Укажіть правильне твердження про неї.

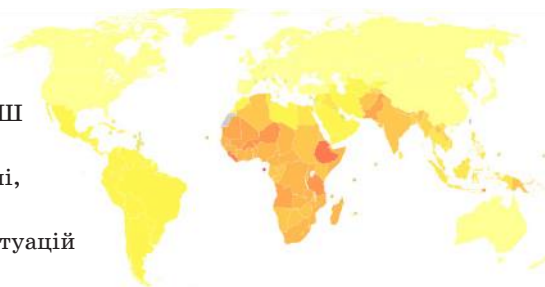
А найменше людей із ІППСШ живе в Південній Америці

Б найімовірніше зараження ІППСШ у країнах Африки

В у США немає людей із ІППСШ

Г на континентах Південної

Д півкулі ІППСШ більш поширені, ніж на континентах Північної



■ 2. Після якої з наведених ситуацій варто здати аналіз на ВІЛ?

А користування чужим рушником

Б статевий акт із використанням презерватива

В позитивний результат тесту на вагітність

Г здавання крові з вени в поліклініці

■ 3. Зазначте рису, якою наділені немовлята завдяки грудному вигодовуванню.

А стійкість до інфекцій **Б** пришвидшення травлення

В зменшення маси тіла **Г** збільшення тривалості сну

■ 4. Вагітній жінці рекомендують зменшити споживання

А фруктів і овочів **Б** хліба **В** кави **Г** м'яса риби

■ 5. У відповідність метод контрацепції з групою методів, до якої він належить.

1 вазектомія

А природні

2 жіночий презерватив

Б бар'єрні

3 підшкірний імплант

В гормональні

4 сперміцидний гель

Г хімічні

5 перерваний статевий акт

Д хірургічні

У житті все просто

■ 6. Чи можна повністю запобігти зараженню ІППСШ? Обґрунтуйте відповідь.

■ 7. Розробіть пам'ятку здоров'я майбутніх мам і тата, у яку включите поради щодо підготовки до вагітності та її перебігу.

У житті не все просто

■ 8. Чому віртуальне батьківство, про яке йде мова на *рисунку 36.5*, мало бути ефективним способом зменшення рівня підліткової вагітності? З яких причин це могло дати протилежний ефект?

■ 9. Порівняйте хімічний склад жіночого грудного молока і його комерційних сумішей-замінників. Чи можливо створити ідеальну суміш-замінник, що мала б склад, ідентичний грудному молоку? Якщо так, то якою буде її ціна?

§ 37. Профілактика захворювань людини

Профілактика неінфекційних захворювань полягає в мінімізації негативних впливів на здоров'я

Виконання висловлених у попередніх параграфах рекомендацій спрямоване на підтримання здоров'я та запобігання появі порушень чи захворювань, тобто на **профілактику хвороб**. Кожна сьома людина з десяти у світі помирає від захворювань, що не передаються від людини до людини, — **неінфекційних хвороб**. Їхня поява визначається схарактеризованими раніше чинниками (табл. 37.1) нездоровим способом життя, шкідливими звичками, несприятливими соціальним і природним оточенням, спадковістю. Тому їхня профілактика й полягає у виконанні попередньо зазначених рекомендацій. Так можна знизити ризик появи захворювань серцево-судинної системи (ішемічної хвороби серця, інсультів), забезпечивши нормальний рівень фізичної активності, уникнути хвороб обміну речовин (цукрового діабету II типу) — скоригувавши харчовий раціон, зменшити ймовірність розвитку раку легень — кинувши палити, запобігти психозам — уникнувши надмірного стресу. Варто розуміти, що лише одна дія, наприклад, припинення вживання алкоголю чи активний біг щовечора з огляду на профілактику неінфекційних хвороб, краще, ніж її відсутність. Але для максимального зменшення ймовірності розвитку цих хвороб треба намагатися дотримуватися всіх запропонованих рекомендацій водночас.

Окрім здорової власної поведінки, потрібно максимально «оздоровити» своє довкілля якомога менше перебувати в забрудненому середовищі (наприклад, біля «брудних» промислових об'єктів, на магістральних вулицях міста), а частіше в парках чи за межами населеного пункту. Також регулярні медичні огляди в лікарів і лікарок різних спеціальностей, здавання аналізів і проведення діагностичних процедур (рис. 37.1) сприятимуть якомога швидшому виявленню порушення. Сучасна медицина володіє численними засобами корекції й лікування неінфекційних хвороб, тому навіть якщо вони

Таблиця 37.1. Основні поведінкові й фізіологічні фактори ризику розвитку неінфекційних хвороб

Фактор	Серцево-судинні захворювання	Цукровий діабет II типу	Захворювання дихальної системи	Онкологічні захворювання
Нестача фізичної активності	+	+	+	+
Нераціональне харчування	+	+	+	+
Куріння	+	+	+	+
Уживання алкоголю	+			+
Ожиріння	+	+	+	+
Підвищений артеріальний тиск	+	+		

з'явилися, не варто панікувати і втрачати віру в краще. Науково доведено, що позитивний настрій і віра в ефективність лікування сприяють одужанню¹. Ба більше, медичній науці відомі шляхи підвищення ефективності профілактики деяких хвороб, варто лише проконсультуватися в якісного спеціаліста чи спеціалістки. Останнє особливо актуальне для людей, що з генетичних причин схильні до тих чи тих порушень. Їм потрібно заздалегідь дізнатися про таку схильність (часто це можна зробити за родо-водом) і враховувати ці знання в повсякденному житті.

Інфекційні й інвазивні хвороби передаються різними механізмами та шляхами

Інфекційні² хвороби спричинені проникненням до організму збудників (інфекційних агентів) — вірусів, пріонів, бактерій, одноклітинних еукаріотів, грибів. Якщо ж збудник є твариною-паразитом (глистом, комахою, кліщем), то захворювання називають **інвазивним**³. На відміну від неінфекційних, інфекційні й інвазивні хвороби передаються від людини до людини⁴. Для реалізації зараження інфекційний агент має

- залишити організм хворої людини;
- перенестися через навколишнє середовище;
- проникнути до організму іншої людини.

Вихід збудника з організму хворої людини можливий завдяки фізіологічним виділенням (випорожнення, сечовиділення, чхання й кашель, кровотеча), завдяки укусам кровосисних комах, штучним шляхом під час медичних (уколи, переливання крові) чи косметологічних процедур (пірсинг, татуаж). Надалі інфекційні агенти за участю неживих і живих компонентів довкілля переносяться до іншої людини. У перенесенні можуть брати участь повітря, вода, продукти харчування, предмети побуту, медичні інструменти, живі переносники тощо. Саме ці об'єкти й визначають шлях передачі інфекції (не плутати з механізмом, *див. нижче*). Зрештою, у певний спосіб збудник кризь покриви тіла потрапляє до організму іншої людини. Найчастіше для проникнення потрібне порушення покривів (наприклад, поранення шкіри) чи потрапляння збудника на слизову оболонку. Крім того, проникненню сприяє зниження загального рівня імунітету.

¹ Таке явище отримало назву «ефект плацебо».

² Від лат. *inficio* — заражати.

³ Від лат. *invasion* — нашествя, напад.

⁴ Спадкові (генетичні) хвороби також здатні передаватися від батьків до дітей, але, оскільки вони не спричинені організмом-збудником, їх не відносять до інфекційних чи інвазивних.



Рис. 37.1. Флюорограма легень і серця

За допомогою флюорографії органів грудної клітки, яку рекомендують робити щодва роки, можна визначити порушення в серці та легенях.

Ґрунтуючись на роботах українського епідеміолога Льва Громашевського, виокремлюють шість механізмів передачі інфекції, кожен із яких може реалізуватися різними шляхами (табл. 37.2).

Таблиця 37.2. Механізми й шляхи передачі інфекції

Механізм	Суть	Шляхи	Приклади захворювань
Повітряний	Збудник переноситься зі слизової дихальних шляхів через повітря	Повітряно-крапельний (із краплями слини)	ГРВІ, бронхіт, пневмонія, гепатит А
		Повітряно-пиловий (із частинками пилу)	
Фекально-оральний	Збудник вивільняється зі шлунково-кишкового тракту з калом чи блювотою та потрапляє до рота іншої людини	Водний	Гельмінтози (глистні інвазії), дизентерія, сальмонельоз, холера
		Через продукти харчування	
		Через предмети побуту й ґрунт	
Трансмісивний	Збудник переноситься кровосисними тваринами	За участю тварин-переносників	Малярія (комарі), поворотний тиф (воші), хвороба Лайма (кліщі)
Контактний	Збудник виділяється на шкіру чи слизові оболонки й переноситься під час контакту	Контактно-раньовий	ПППШ, правець, сифіліс, сибірська виразка
		Статевий	
		Через предмети побуту й ґрунт	
Гемоконтактний	Збудник передається через контакт із кров'ю	Природний (під час поранення)	ВІЛ/СНІД, гепатит В і С
		Штучний (під час медичних чи косметичних маніпуляцій)	
Вертикальний	Від матері до дитини	Під час вагітності	ВІЛ/СНІД, краснуха, герпес
		Під час пологів	

Ефективна профілактика зараження впливає з розуміння механізмів інфікування

З огляду на механізми й шляхи передачі інфекцій можна виокремити кілька підходів до попередження інфікування. Оскільки джерелом інфекції є інша людина, то насамперед її треба лікувати. Тому, щоб не стати джерелом інфекції, при появі підозрілих симптомів, змін у роботі організму одразу варто звернутися до сімейного лікаря чи лікарки. Однак деколи інфекційна чи інвазивна хвороба стає хронічною чи не має яскраво виражених симптомів. Тут у нагоді стають регулярні медичні огляди й обстеження з метою визначення стану здоров'я. Вони є обов'язковими для певних груп населення — медиків, освітян, працівників громадського харчування, людей із хронічними хворобами, дітей.

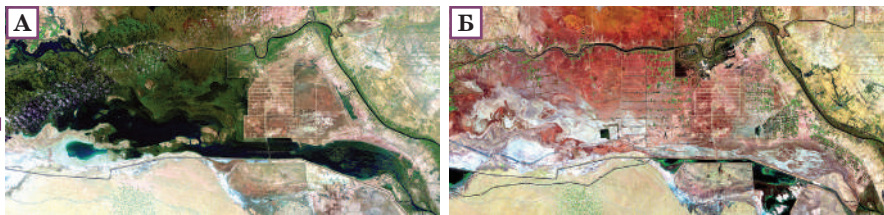


Рис. 37.2. Осушування Хаммарських боліт у Іраку

Через осушування боліт із метою зменшення кількості малярійних комарів, збільшення агро- і нафтопромислових площ, а також виселення корінних мешканців із 1992 року (А) по 2002 рік (Б) площа боліт зменшилась на 90 %, що спричинило опустелювання, вимирання видів і зміну клімату в регіоні.

Оскільки швидко вилікувати інфекційну чи інвазивну хворобу не завжди можливо, то її носіїв треба помістити до карантину — в умови обмеження контактів інфікованої людини з іншими людьми¹. Задля цього люди з такими хворобами повинні або самоізолюватися (не ходити на навчання, роботу, не виходити з помешкання), або бути ізольованими в спеціальних інфекційних відділах чи лікарнях. Якщо такий карантин неможливий, то варто принаймні обмежити поширення власних виділень, одягнувши марлеву маску й ретельно миючи руки після відвідин туалету.

Інший підхід до профілактики зараження інфекційними й інвазивними хворобами полягає в захисті ще не інфікованих осіб. Для цього вони повинні ретельно дотримуватися правил особистої гігієни, здійснювати якісне миття й температурну обробку продуктів харчування та води, використовувати презервативи й уникати контактів із кров'ю та виділеннями інших людей. Також варто боротися з тваринами-переносниками інфекцій за рахунок осушування боліт, використання інсектицидів (але робити це раціонально, лише якщо вигода перевищує несприятливу дію на довкілля, рис. 37.2), покращувати соціально-побутові умови малозабезпечених верств населення тощо. Не менш важливим елементом профілактики є суспільна гігієна й гігієна в медичних і косметологічних закладах прибирання, дезінфекція, стерилізація поверхонь і інструменту, використання одноразових шприців.

Окрім цього, надзвичайно ефективним шляхом набуття захисту від різних інфекційних хвороб є вакцинація (рис. 37.3). Тут варто пам'ятати, що деякі вакцини мають бути

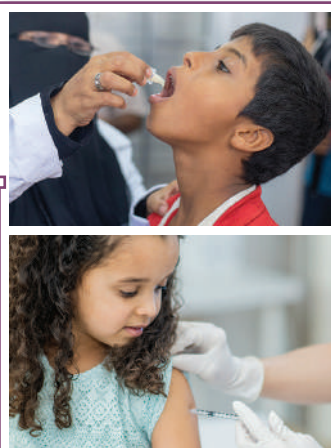


Рис. 37.3. Різні способи введення вакцин

¹ Від італ. *quarantena* — сорок днів; у ширшому значенні карантин — це обмеження контакту людей із джерелом інфекції: певною особою чи групою особин, територією, товаром тощо.

введені ще в дитячому віці (гепатит В, кір, поліомієліт тощо), а деякі потрібно поновлювати й у дорослому (правець, дифтерія, грип). Зрештою, не менш ефективним підходом є підтримання високого рівня імунітету. Для цього потрібні нормальна рухова активність, здорове харчування, належний відпочинок, уникання стресів, комфортне соціальне середовище тощо.

Перемогти масштабні епідемії — реально

У 1980 році ВООЗ заявила, що завдяки масовій вакцинації населення вдалося повністю викоринити натуральну віспу на Землі¹. Це було здійснено завдяки зусиллям багатьох держав (особливо африканських) і введенню кількох мільярдів доз вакцин. Подібні програми масової вакцинації від інших хвороб уже приносять користь. Так, щорічно у світі фіксується лише близько сотні випадків поліомієліту, порівняно з понад 350 тис. випадків 30 років тому. Кору й краснухи вже позбулися близько 80 країн світу, й усі випадки цих хвороб у них «завезені» (рис. 37.4). Охоплення комплексною вакциною від дифтерії, кашлюку й правця досягло 86 % усіх дітей світу, вакциною від гепатиту В — 84 %. ВООЗ прогнозує, що перелічені вище хвороби в найближчому майбутньому будуть викоринені. Усе ширше впроваджується вакцинація від збудників менінгіту та пневмонії, вірусу папіломи людини тощо. Триває активна розробка нових, високоефективних вакцин від туберкульозу, малярії, ВІЛ, інших хвороб. Найбільшими перепонами до загальної імунізації є недофінансування програм закупівлі й поширення вакцин, антивакцинаторські погляди, масові переселення та військові конфлікти.

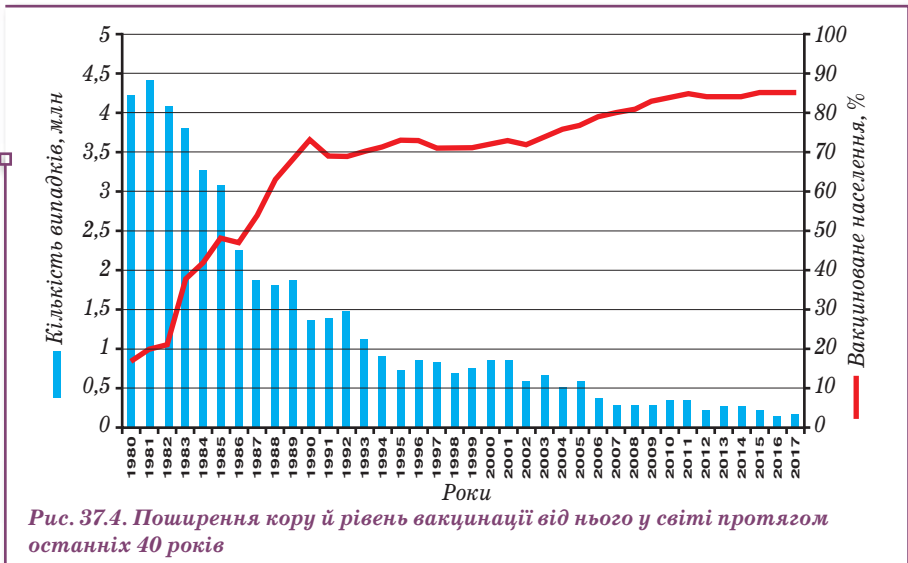


Рис. 37.4. Поширення кори й рівень вакцинації від нього у світі протягом останніх 40 років

¹Офіційно вірус зберігся лише у двох лабораторіях у світі — у США і в Росії.

Збудники інфекцій мінливі й потребують активного контролю над їх поширенням

Але чи можемо ми убезпечити себе від усіх інфекцій вакцинацією, гігієною й підтриманням імунітету? На жаль, ні. Віруси й бактерії часто мають високий ступінь варіабельності у своїх поверхневих білках (які й розпізнаються імунною системою), тому в наступній хвилі епідемії набутий завдяки вакцині імунітет не спрацює ефективно, оскільки імунна система буде вже не здатна швидко розпізнати чужорідну речовину (детальніше про імунітет йтиметься в наступному параграфі). Тому введення деяких вакцин, наприклад, вакцин від грипу, потрібно здійснювати щорічно восени, і вакцина має бути від того штаму інфекційного агента, епідемія якого очікується. Та й вакцинація подекуди не забезпечує захисту на все життя, та через певні проміжки часу деякі вакцини треба вводити повторно (наприклад, від дифтерії чи правця щодесять років).

Ба більше, нові штами вірусів можуть виникати як гібриди різних вірусів у організмах людей і тварин. Такі збудники, наприклад, були причиною епідемії пташиного чи свинячого грипу — зараження людей відбувалося вірусом, що виник в організмі тварин¹. Також тваринні віруси можуть мутувати й породжувати смертоносні інфекції в людей віруси Еболи, Марбург, близькосхідного коронавірусного синдрому, тяжкого гострого респіраторного синдрому мають тваринне походження. Варто зауважити, що, крім впливу на людей, віруси вражають і сільськогосподарських тварин, спричиняючи їхню загибель. Тож люди, намагаючись уберегтися від джерела інфекції, мусять убивати й спалювати мільйони їх особин (рис. 37.5), що негативно впливає на економічний розвиток.

Оскільки засоби пересування в наш час швидкі й розвинені, то носій збудника з одного регіону лише за кілька годин може опинитися в іншому, принісши зі собою інфекцію. Остання, через велику щільність проживання населення, може швидко передаватися від людини до людини і спричинити епідемію. Для уникнення цього ВООЗ і міжнародні тваринницькі організації запровадили систему швидкого сповіщення та розробили плани карантинних дій у разі початку епідемій. Отже, лише всезагальний контроль за джерелами інфекцій і їх поширенням може забезпечити достатній рівень захисту населення всього світу.

¹ Існує теорія, що «іспанка» — пандемія грипу в 1918-1919 рр., яка забрала життя 50–100 млн людей, була спричинена також вірусом грипу, що виник у тілах птахів.



Рис. 37.5. Працівники епідеміологічної служби збирають тіла мертвих курей під час епідемії пташиного грипу

Елементарно про життя

■ 1. Людям зі схильністю до цукрового діабету II типу варто

- А їсти більше солодкого
- Б зменшити рівень фізичних навантажень
- В ретельно контролювати масу свого тіла
- Г відвідувати лікаря щомісяця

■ 2. Заповніть пропуски у твердженні щодо зображеного на світлині об'єкта.

□ Його можна використовувати для (1) потрапляння збудника (2) у довкілля.

- А 1 – обмеження, 2 – правця
- Б 1 – покращення, 2 – малярії
- В 1 – забезпечення, 2 – СНІД
- Г 1 – блокування, 2 – бронхіту



■ 3. Серед наведених хвороб виберіть ту, викорінення якої, імовірно, станеться найшвидше.

А кір Б поліомієліт В малярія Г гепатит В

■ 4. Який із цих факторів сприяє швидкому поширенню інфекції від людини до людини?

- А глобальне потепління Б урбанізація
- В зменшення озонового шару Г зменшення біорізноманіття

■ 5. У відповідності інфекцію та шлях її передачі.

- | | |
|--------------|-------------------------------------|
| 1 грип | А комахами-переносниками |
| 2 ВІЛ/СНІД | Б при використанні спільного шприца |
| 3 малярія | В із неочищеною водою |
| 4 дизентерія | Г повітряно-крапельний |

У житті все просто

■ 6. Сформулюйте по п'ять рекомендацій для профілактики інсульту й грипу.

■ 7. У чому різниця між механізмом і шляхом інфікування. Чи може один шлях інфікування забезпечувати реалізацію кількох механізмів? Наведіть приклади.

■ 8. Запропонуйте глобальні дії (на рівні держави) та локальні (на рівні вашого навчального закладу), що сприяли б якомога більшому охопленню дітей вакцинацією.

У житті не все просто

■ 9. Скориставшись фактами з історії епідеміології, доведіть, що нині епідемії розвиваються швидше, ніж століття тому.

■ 10. Час від часу в пресі з'являються повідомлення про створення «вакцини» від раку. Чи це дійсно вакцина в класичному значенні цього терміна? Як насправді працюють такі препарати?

Розробка рекомендацій щодо профілактики захворювань

Мета: навчитися визначати причини розвитку неінфекційних хвороб і шляхи передачі інфекційних, узагальнити знання про заходи профілактики різних типів захворювань, розробити рекомендації щодо профілактики окремих типів хвороб.

Хід роботи

■ 1. Схарактеризуйте дві неінфекційні хвороби чи порушення різних систем органів за наведеними критеріями.

Критерій	Хвороба (порушення) 1	Хвороба (порушення) 2
Назва		
Орган (органи) і система органів, де відбувається		
Симптоми		
Зміна в організмі, що стала причиною появи		
Фактори, що сприяли виникненню		

■ 2. Запропонуйте рекомендації для профілактики кожної з досліджуваних неінфекційних хвороб чи порушень за кожним з основних чинників впливу (якщо можливо).

Чинник впливу	Хвороба (порушення) 1	Хвороба (порушення) 2
Умови довкілля		
Медичне обслуговування		
Соціальні чинники		
Фізична активність		
Харчування		
Гігієна		
Відпочинок		
Шкідливі звички		

■ 3. Схарактеризуйте дві інфекційні хвороби за наведеними критеріями.

Критерій	Хвороба 3	Хвороба 4
Назва		
Збудник		
Орган (органи) і система органів, у якій паразитує		
Симптоми		
Механізм зараження		
Шляхи зараження		

■ 4. Запропонуйте рекомендації для запобігання інфікуванню кожним зі збудників та загальні профілактичні заходи, спрямовані на посилення імунного захисту.

Критерій	Хвороба 3	Хвороба 4
Рекомендації для запобігання інфікуванню		
Рекомендації для посилення імунного захисту		

■ 5. У висновку узагальніть рекомендації щодо профілактики неінфекційних та інфекційних хвороб і порушень. Поясніть подібність багатьох рекомендацій.

§ 38. Імунна система

Імунна система забезпечує захист організму завдяки лейкоцитам

Інколи всі заходи попередження захворювань не спрацьовують, і людина починає хворіти. Тоді до справи береться **імунна система** — сукупність біологічних структур організму, що беруть участь у його захисті шляхом пошуку й знищення небезпечних агентів: неклітинних, одно- і багатоклітинних паразитів, чужорідних тіл, отруйних речовин і перероджених клітин власного тіла. Основними «бійцями» цієї системи є різноманітні види лейкоцитів: лімфоцити, фагоцити й інші допоміжні клітини (рис. 38.1, А). Вони утворюються в червоному кістковому мозку, а дозрівають і розмножуються в решті органів лімфатичної системи¹: тимусі (загрудинній залозі), лімфатичних вузлах і фолікулах (їх багато в мигдаликах і апендиксі), селезінці (рис. 38.1, Б).

Компоненти вродженого імунітету забезпечують неспеціалізований захист

Захист організму має три «лінії оборони»: захисні покриви², вроджений (неспецифічний) імунітет і набутий (специфічний) імунітет. Захисна функція покривів реалізується завдяки наявності механічного бар'єру між організмом і навколишнім середовищем. У людини таким бар'єром є шкіра, а також слиз, слюзи й сеча, що захоплюють мікроорганізми та часточки пилу на поверхні травної, дихальної, сечостатевої системи і виводять їх із організму. Понад те, хімічні речовини також беруть участь у захисті на рівні покривів: так, до складу сліз і слини входить фермент лізоцим, що здатний руйнувати клітинну стінку бактерій, а в шлунку міститься соляна кислота й протеази, які ефективно знищують мікробів, що потрапили всередину.

¹ Іноді лімфатичну й імунну системи вважають однією й тією ж, оскільки органи й клітини обох систем є спільними. Тим не менш, лімфатична система виконує й інші функції, окрім захисної (наприклад, транспортує жири).

² Захисні покриви (з точки зору наявності від народження) можуть розглядатися як елемент вродженого імунітету, хоча вони й не є частиною імунної системи.

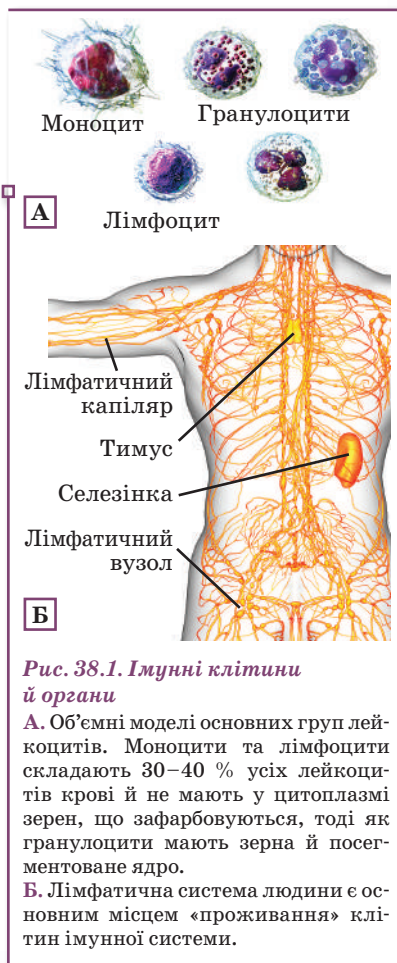


Рис. 38.1. Імунні клітини й органи

А. Об'ємні моделі основних груп лейкоцитів. Моноцити та лімфоцити складають 30–40 % усіх лейкоцитів крові й не мають у цитоплазмі зерен, що зафарбовуються, тоді як гранулоцити мають зерна й посегментоване ядро.

Б. Лімфатична система людини є основним місцем «проживання» клітин імунної системи.

Уроджений імунітет, подібно до захисних покривів, працює проти всіх чужорідних агентів, тобто є неспецифічним. Також, на відміну від набутого імунітету, він спрацьовує одразу після потрапляння збудника до організму. До його складу входять як гуморальні (розчинені в рідинах тіла речовини), так і клітинні компоненти (табл. 38.1). Завдяки вродженому імунітету відбувається первинне знищення небезпечних агентів та активація набутого імунітету.

Таблиця 38.1. Компоненти вродженого імунітету

Компонент	Природа	Функція
Система комплементу	Гуморальна	Зв'язування з поверхнею інфікованої чи переродженої клітини та руйнування її мембрани, приваблення імунних клітин
Медіатори запалення	Гуморальна	Приваблення імунних клітин до місця пошкодження, прискорення загоювання
Фагоцити	Клітинна	Поглинання й перетравлення чужорідних агентів
Природні киллери	Клітинна	Виділення речовин, що вбивають ракові чи інфіковані вірусом клітини

Набутий імунітет заснований на взаємодії з антигенами

Найбільш досконалим, характерним винятково для хребетних тварин є набутий імунітет. У його основі лежить розпізнавання Т- і В-лімфоцитами¹ компонентів чужорідних агентів — антигенів. Антигени — це речовини, які організм вважає нехарактерними для себе і які зв'язуються з антитілами чи рецепторами лімфоцитів. Таке зв'язування відповідає принципу «ключа й замка», згідно з яким тривимірна структура антигена має відповідати за просторовою формою антиген-зв'язувальній ділянці антитіла (білка-імуноглобуліна) чи рецептора (рис. 38.2). Саме ж зв'язування відбувається завдяки електростатичним, водневим й іншим міжмолекулярним зв'язкам. Завдяки тому, що окремі Т- і В-лімфоцити реагують лише на певний антиген, набутий імунітет є специфічним щодо до нього й чужорідного агента, його джерела.

Існують дві гілки набутого імунітету — клітинна й гуморальна (рис. 38.3). Перша з них реалізується за допомогою Т-лімфоцитів-кіллерів. Кожен із них має на поверхні унікальний рецептор, що здатний зв'язуватися з пептидним антигеном, який

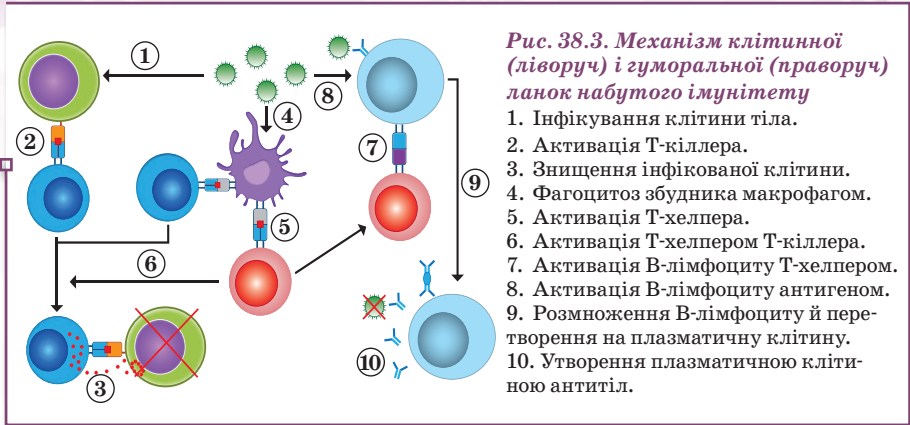
¹ Дозрівання Т[те]-лімфоцитів відбувається в тимусі, тоді як В[бе]-лімфоцитів — у фабрицевій сумці в птахів (латинською сумка — bursa). У людей В-лімфоцити дозрівають у кістковому мозку, але все одно позначаються літерою «В».



Рис. 38.2. Антитіла (імуноглобуліни)

А. Зв'язування антигена й антитіла відбувається відповідно до принципу «ключа й замка».

Б. Модель будови імуноглобуліну G. Різними кольорами позначено важкі (синім) і легкі (фіолетовим) амінокислотні ланцюги.



презентують інфіковані клітини чи фагоцити. Якщо просторова форма рецептора Т-кіллера відповідає структурі представленого антигена (як ключ до замка), то відбувається його активація й розмноження. Цьому можуть сприяти Т-лімфоцити-хелпери, виділивши певні речовини. Надалі численні Т-кіллери будуть зв'язуватися з клітинами, що презентують антиген, і знищуватимуть їх, «пробивши» отвори в мембрані за допомогою своїх токсинів. Здебільшого таким шляхом гинуть клітини, заражені вірусами, внутрішньоклітинними бактеріями чи клітиною пухлин. У 1908 році за відкриття клітинної ланки імунітету український вчений Ілля Мечников отримав Нобелівську премію з фізіології або медицини.

За реалізацію гуморальної гілки набутого імунітету відповідають В-лімфоцити. На відміну від Т-кіллерів, вони не потребують презентації антигена іншою клітиною й здатні зв'язувати вільні антигени. Для цього вони використовують антитіла, що прикріплені до їхньої поверхні. Надалі під впливом Т-хелперів В-лімфоцити розмножуються й перетворюються в плазматичні клітини, які виділяють численні антитіла, що зв'язують антиген, блокують його дію й спричиняють знищення (наприклад, фагоцитами).

Для обох видів набутого імунітету характерним є явище імунної пам'яті. Спеціальні клітини пам'яті, які коли-небудь контактували з певним антигеном, зберігаються в організмі роками. Завдяки їм під час повторного потрапляння вже знайомого антигена до організму імунна відповідь розвивається швидше й сильніше. Саме на цьому й ґрунтується вакцинація: завдяки вакцинні з антигенами в організмі існуватимуть клітини імунної пам'яті, завжди готові активувати потужний імунітет проти збудника.

Завдяки імункорекції можнавилікувати порушення в роботі імунної системи

Оскільки основну функцію із захисту організму виконує імунна система, то, впливаючи на неї, можна сприяти швидшому одужанню. Ба більше, деякі

Таблиця 38.2. Імунні порушення

Група імунних порушень	Суть порушень	Приклади
Автоімунні хвороби	Імунна система атакує речовини й клітини власного організму	Цукровий діабет I типу, розсіяний склероз, псоріаз
Імунодефіцити	Пошкодження однієї з ланок імунітету, що спричиняє послаблення захисту	СНІД, важкий комбінований імунодефіцит
Алергії	Гіперчутливість імунної системи до безпечних речовин довкілля	Алергія на пилок рослин, сіно, укуси комах
Онкологічні порушення	Неконтрольоване розмноження імунних клітин	Лейкемія, лімфома

захворювання безпосередньо спричинені порушенням у роботі імунної системи (табл. 38.2). Тому все більш поширеною стає **імуноterapia** — лікувальна дія на імунну систему з метою припинення хвороботворного процесу. Варто розуміти, що імуноterapia може бути спрямована як на зміну роботи власне імунної системи (наприклад, зменшення алергії), так і на певне порушення в організмі, завдяки використанню елементів імунітету (наприклад, уведення сироватки з антитілами проти певного збудника).

Якщо якась ланка імунітету працює неправильно, то для нормалізації її роботи використовують групу імунотерапевтичних методів, що мають назву **імунокорекція**. Стимулювальну імунокорекцію використовують здебільшого при лікуванні імунодефіцитів, особливо набутих. Для цього до організму в різній формі й різними шляхами можуть вводитись препарати, виготовлені із фрагментів клітин бактерій і дріжджів, екстракти з кровотворних органів і рослин (ехінацеї, женьшеню), синтетичні хімічні препарати. Завдяки ним відбувається активування імунних реакцій і покращення імунітету.

При алергіях та автоімунних порушеннях, навпаки, використовують пригнічувальну імунокорекцію, що послаблює імунні реакції. Її здійснюють за допомогою препаратів-імуносупресорів. Найчастіше — це кортикостероїдні гормони чи їх аналоги. Як імуносупресор може використовуватися й ультрафіолетове світло. Наприклад, так лікують шкірні автоімунні хвороби, як-от псоріаз (рис. 38.4): уражені ділянки обробляються спеціальним препаратом, що підвищує чутливість лімфоцитів до світла, й опромінують. Унаслідок таких дій значна частина імунних клітин гине, що призводить до послаблення автоімунного процесу.

Зрештою, ефективними є способи замісної імунокорекції, за якої роботу дефектної ланки компенсують уведенням готових антитіл, імунних клітин чи регуляторів їх роботи. Утім таке заміщення є тимчасовим і потребує регулярного повторення. Щоб заміщення мало тривалий ефект, здійснюють трансплантацію кісткового мозку. Іншим перспективним напрямком є генна терапия, що дозволяє замінити ген, який спричиняє саме порушення роботи імунної системи (докладніше про це йтиметься в § 43).



Рис. 38.4. Псоріаз і його фото-терапія

А. Хвороба починається з появи на шкірі червоних плям, найчастіше на ліктях, колінах і сідницях.

Б. Терапія за допомогою ультрафіолетового світла може здійснюватися навіть у домашніх умовах.

Імунотерапія дозволяє боротися з інфекціями й раком

Розвиненим напрямом імунотерапії є боротьба зі збудниками інфекційних хвороб. Для цього часто використовують препарати, що стимулюють роботу імунної системи. Наприклад, для посилення противірусного імунітету використовують інтерферони чи речовини, що стимулюють їх вироблення. Крім того, пасивні способи імунотерапії, як-от сироватку з готовими антитілами (антисироватку), застосовують під час отруєнь (зокрема, ботуліністичним токсином або після укусу змії) чи інфекцій.

Окремою розвинуеною галуззю імунотерапії є лікування раку. Один із найпоширеніших її видів полягає у використанні специфічних антитіл проти антигенів ракових клітин. Завдяки зв'язуванню антитіл із поверхневими білками клітин пухлин, вони активніше розпізнаються й знищуються імунними клітинами (рис. 38.5). Іншим шляхом використання антитіл є блокування ними пухлинних білків, які пригнічують імунну відповідь. За відкриття цього

способу імунотерапії раку Тасуку Хондзьо та Джеймс Еллісон у 2018 році отримали Нобелівську премію з фізіології або медицини.

Імунотерапія використовується також у трансплантології для послаблення реакції відторгнення трансплантату. Під час відторгнення імунна система атакує чужорідний пересаджений орган, тому й виникає потреба в пригніченні (супресії) імунітету. Часто реципієнтам/реципієнткам донорського органу доводиться вживати імуносупресорні препарати протягом решти життя. Ще одним важливим напрямом є попередження розвитку гемолітичної хвороби новонароджених унаслідок резус-конфлікту¹. Для цього використовують спеціальні антитіла проти окремих материнських імунних клітин.

¹ Резус-конфлікт виникає тоді, коли мати є резус-негативною, а плід — резус-позитивним. Під час нього материнські лімфоцити знищують еритроцити ембріону, оскільки ті несуть резус-антиген.

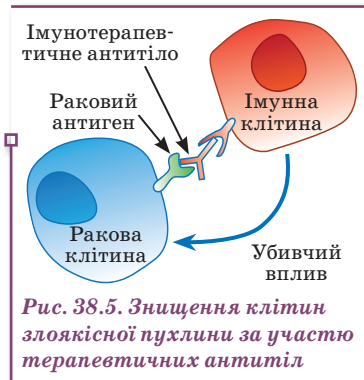


Рис. 38.5. Знищення клітин злоякісної пухлини за участю терапевтичних антитіл

Елементарно про життя

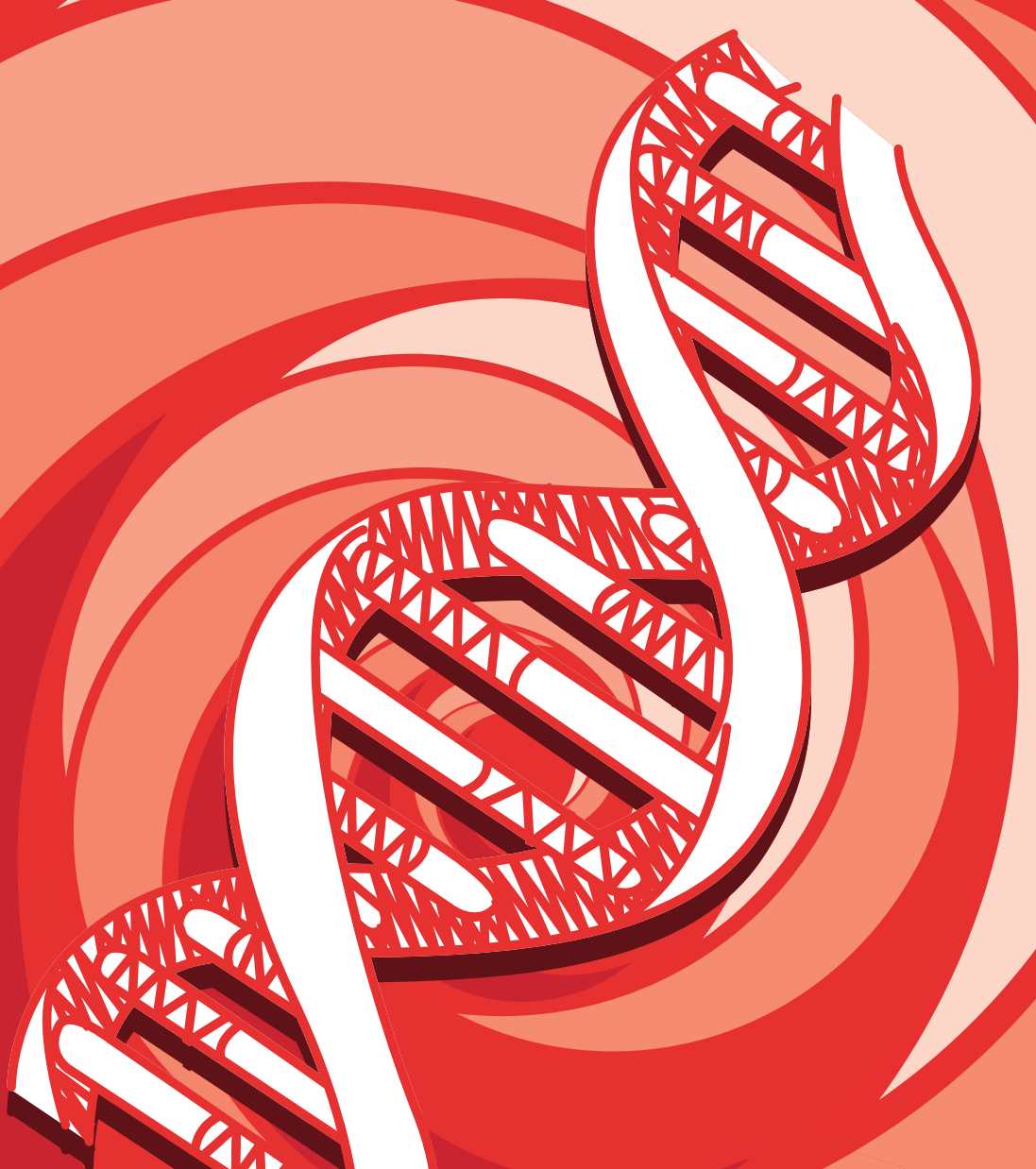
- 1. В-лімфоцити відрізняються від Т-лімфоцитів тим, що
 - А** мають зафарбовані зерна в цитоплазмі
 - Б** дозрівають у тимусі
 - В** здатні утворювати антитіла
 - Г** забезпечують набутий імунітет
- 2. Під час системного червоного вовчаку відбувається загибель клітин сполучної тканини внаслідок атаки на них власних лімфоцитів. Яку імунокорекцію можна застосувати для полегшення цієї недуги?
 - **А** стимулювальну
 - Б** пригнічувальну
 - В** замісникову
 - Г** специфічну
- 3. Імуноterapia раку, проілюстрована на *рисунку 38.5*, є прикладом використання
 - А** гуморальної ланки вродженого імунітету
 - Б** штучно отриманих імунних клітин
 - В** гуморальної ланки набутого імунітету
 - Г** імунокорекції для лікування хвороб
- 4. Імунна відповідь під час повторного контакту з антигеном, порівняно з нею під час першого контакту, через наявність клітин імунної пам'яті відбувається
 - А** швидше
 - Б** слабше
 - В** аналогічно
 - Г** понаднормово
- 5. У відповідь на етап імунного захисту з прикладом його реалізації.
 - А** поїдання фагоцитами бактерій, що потрапили
 - 1 захисні покриви до місця порізу
 - 2 уроджений імунітет **Б** збільшення виділення слизу в носовій порожнині
 - 3 набутий імунітет під час респіраторної інфекції
 - В** утворення антитіл проти вірусних частинок грипу

У житті все просто

- 6. Доведіть на прикладах, що між уродженим і набутим імунітетом існує взаємозв'язок.
- 7. Порівняйте у вигляді таблиці різні види імунокорекції.
- 8. Що спільного та відмінного між пригніченням реакції відторгнення трансплантату й імунокорекцією? Чи можна вважати таке використання імунотерапії у трансплантології імунокорекцією?

У житті не все просто

- 9. В організмі людини потенційно може вироблятися кілька десятків мільйонів різних антитіл, хоча в нашому геномі всього близько 20 тис. генів. Як вдається створювати таке величезне різноманіття антитіл?
- 10. Чому імунна система в нормальному стані не реагує на антигени, що є у власному організмі? Як вона відрізняє «своє» від «чужого»?
- 11. Відкриття гуморальної й клітинної гілок імунітету відбувалося в один час, що призвело до появи наукової дискусії щодо механізму імунітету. Хто брав у ній участь і хто мав рацію?



ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
У МЕДИЦИНІ, СЕЛЕКЦІЇ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЇ

§ 39. Селекція

Під час неолітичної революції люди почали вирощувати їжу для себе

Ще 10 тисяч років тому на Близькому Сході наші предки займалися полюванням і збиральництвом. Але маленькі групи мисливців поступово почали осідати навколо плодючих територій, де рослин і тварин було достатньо, утворюючи невеликі поселення. Із часом їхні мешканці й мешканки почали не лише збирати, але й доглядати, а згодом і висаджувати деякі дикі рослини на спеціально підготовлених ділянках. Інакше кажучи, вони почали займатися сільським господарством. Такий перехід від привласнювальної економіки до виробничої отримав назву **неолітична революція**. Подібні процеси відбувалися не лише на Близькому Сході, але й у інших регіонах (рис. 39.1). Згодом носії нового способу добування харчу розселялися іншими регіонами й приносили туди навички вирощування культурних рослин і розведення тварин.

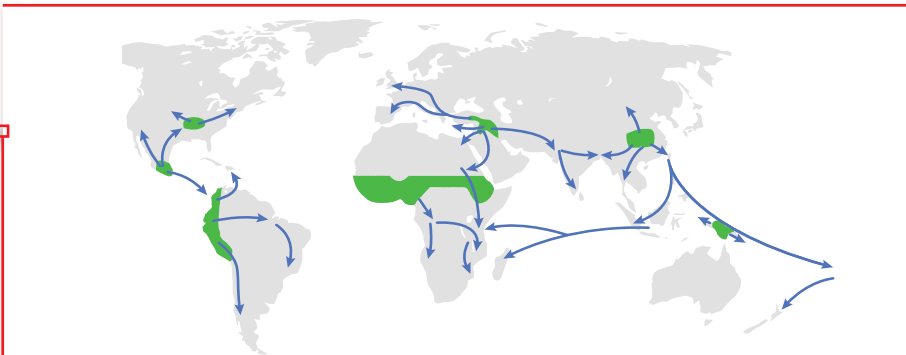


Рис. 39.1. Центри виникнення й поширення сільського господарства

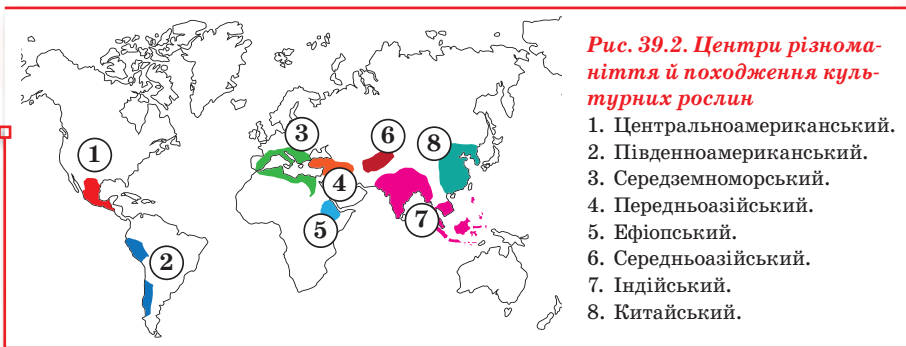
Перехід до виготовлення для себе харчів відбувався кілька разів у різних регіонах (зафарбовані зони) у різних проміжках часу і поширювався в інші регіони.

Говорячи про причини переходу до сільськогосподарської діяльності, наукова спільнота не є одноставною. Найбільш розповсюджена версія — кліматичні зміни. Річ у тім, що близько 11-12 тис. р. до н. е. завершився льодовиковий період, клімат стабілізувався й ріст злакових рослин активізувався. Крім того, унаслідок тривалого зледеніння кількість великих тварин зменшилася й прогодувати себе і свою родину стало важче.

Зі збільшенням розміру й чисельності осіб у поселеннях поряд із людиною почали з'являтися нові екологічні ніші. У них проникали рослини і тварини, що могли співіснувати з людиною. Серед них були й ті, що могли приносити певну користь, наприклад, слугували джерелом їжі. Отже, окультурення рослин і одомашнення тварин від початку не було свідомим і цілеспрямованим процесом. Воно відбувалося спонтанно, коли тварини й рослини, які мали певний набір ознак, заселяли нову екологічну нішу, що сформувалася унаслідок людської діяльності.

Рослини були окультурені в різних регіонах

Для переходу до сільськогосподарської діяльності потрібні були рослини і тварини, придатні до вирощування й розведення людиною. Завдяки численным експедиціям видатного біолога Миколи Вавилова та його послідовників і послідовниць вдалося з'ясувати, що культурні рослини походять із різних регіонів, у яких росте чи ріс їхній предок, і кількість різновидів певної рослини у таких місцях є набагато більшою, ніж у інших. Ці регіони отримали назву **центри різноманіття й походження культурних рослин** (рис. 39.2). У таблиці 39.1 наведено приклади рослин, які були вперше окультурено в кожному з них.



Таблиця 39.1. Центри різноманіття й походження культурних рослин

Центр походження рослин	Розташування	Приклади рослин
Центральноамериканський	Мексика, Нікарагуа, Гондурас, Гватемала	Кукурудза, квасоля, гарбуз, какао, соняшник
Південноамериканський	Колумбія, Еквадор, Перу, Болівія	Картопля, томат
Середземноморський	Албанія, Хорватія, Греція, Італія, Іспанія, Туніс, Єгипет	Овес, капуста, буряк, кріп, морква, олива
Передньоазійський	Іран, Ірак, Туреччина, Сирія, Ліван, Ізраїль, Йорданія	Пшениця, жито, горох, виноград
Ефіопський	Ефіопія, Судан, Еритрея	Кава, кавун
Середньоазійський	Індія, Пакистан, Афганістан, Таджикистан, Узбекистан	Диня, ріпчаста цибуля, часник
Індійський	Індія, М'янма, Філіппіни, В'єтнам, Лаос, Камбоджа	Рис, огірок, баклажан, цукрова тростина
Китайський	Східна частина Китаю	Соя, яблуна, вишня, апельсин, мандарин, шовковиця, хурма

Принцип Анни Кареніної пояснює причини одомашнення лише окремих видів тварин

Із формуванням нових екологічних ніш поряд із людиною почали заселятись нові організми тварин. Деякі з них могли використовуватись як їжа, як тяглові або сторожові тварини. Їх людина й почала одомашнювати. Однак не всі види диких тварин були придатні для одомашнювання. Так, носоріг занадто агресивний, а лань занадто ляклива, щоб співіснувати з людиною. Для того, щоб тварина могла бути одомашнена, вона повинна мати цілий ряд характеристик. Навіть якщо одна з них відсутня, одомашнювання неможливе. Це правило називають **принципом Анни Кареніної**¹. Виходячи з цього принципу, сформульованого Джаредом Даймондом, усі одомашнені тварини схожі між собою, а кожна неодомашнена не може бути одомашнена через свої причини.

Розглянемо більш детально ці ознаки, які є в одомашнених тварин:

- невибагливість у харчуванні;
- швидкий ріст;
- здатність розмножуватись у неволі;
- товариське ставлення до людини;
- відсутність схильності до паніки.

Як і у випадку з рослинами, одомашнення тварин було прив'язане до певних географічних регіонів. Вівця, корова, кінь, одnogорбий верблюд і коза були одомашнені в Передній Азії, собака й курка — у Південно-Східній Азії, кішка, осел і цесарка були одомашнені в Північній Африці, індик — у Центральній Америці, лама й альпака — у Південній Америці (рис. 39.3).

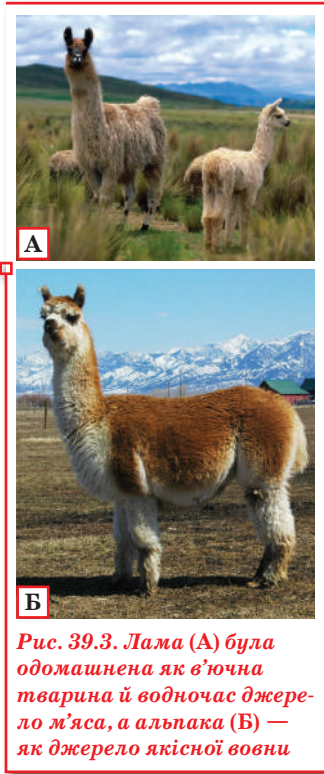


Рис. 39.3. Лама (А) була одомашнена як в'ючна тварина й водночас джерело м'яса, а альпака (Б) — як джерело якісної вовни

Найпоширенішими методами селекції є штучний добір і гібридизація

Після окультурення рослин і одомашнення тварин люди продовжували поліпшувати якості організмів, які використовували. Ще тисячі років тому було зроблено спостереження, що нащадки успадковують властивості предків, а отже, добираючи організми з потрібними властивостями, можна значно покращити якість нащадків. Із розвитком уявлень людини про успадкування ознак, такий добір отримав цілеспрямований характер. Поступово сформувалася наука **селекція**, що вивчає методи покращення властивостей організмів і створення їхніх нових різновидів із заданими характеристиками (рис. 39.4).

¹ Роман Льва Толстого «Анна Кареніна» починається словами: «Усі щасливі сім'ї схожі одна на одну, кожна нещаслива сім'я нещаслива по-своєму».

**А****Б**

Рис. 39.4. Українські селекційні здобутки

А. Дослідне поле з озимою пшеницею Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. **Б.** Яблуко сорту Аскольда, виведеного в Інституті садівництва УААН України.

Основними методами селекції є **штучний добір** і **гібридизація**. Штучний добір дозволяє посилити ознаки предкових організмів. Для цього вибирають тих представників, у яких найяскравіше виражені потрібні людині властивості. Дозволяючи їм розмножуватися, отримують нащадків, у частини з яких необхідні риси будуть ще дужче проявлятися. Так неодноразово повторивши добір, посилюють прояв властивості, що була потрібна.

Під час гібридизації схрещують організми з подібними чи різними необхідними людині рисами. У першому випадку серед нащадків прояв властивості може посилитись, а у другому — з'являться гібриди, що поєднують корисні особливості своїх предків.

Унаслідок селекції утворюються нові **сорти** рослин, **породи** тварин і **штами** мікроорганізмів. Це групи організмів одного виду, подібні між собою й отримані штучно в процесі селекції. Цікаво, що сорти й породи мають дуже схожі спадкові ознаки, а штами взагалі є нащадками одного предкового організму. Якщо він при цьому розмножується лише нестатево, то всі представники одного штаму є генетично ідентичними клонами. Часто унаслідок селекційного добору сорти, породи й штами вироджуються та погано приживаються в дикій природі.

Селекція прагне надати організмам нових, потрібних людині властивостей

Після неолітичної революції селекціонери й селекціонерки рухалися у двох напрямках: частина намагалася ввести в культуру нові види рослин і тварин, а інші ж займалися вдосконаленням тих, що є. Зрозуміло, що нові види рослин і тварин повинні були мати якісь унікальні властивості й бути чимось корисними людству: шовкопрядів одомашнили для отримання шовку, качок — для отримання пір'я та м'яса, а золотих рибок — для краси. Нині селекціонерська спільнота одомашнює тварин і рослин здебільшого як домашніх улюбленців чи з декоративною ціллю.



Рис. 39.5. Різноманіття порід голубів

Більш поширеною метою селекції є виведення нових сортів, порід і штамів на основі тих, що вже існують. При цьому намагаються посилити корисні для людини властивості: швидкість росту, невибагливість до умов проживання, стійкість до хвороб, покращити виживання, зробити смачнішими чи поживнішими як продукти харчування, посилити вироблення корисних речовин чи надати нового, кращого або дивовижнішого, зовнішнього вигляду (рис. 39.5). Наразі основним стимулом селекції є економічна вигода: якщо сорт, породу чи штамп куплять, то й сенс у його виведенні є.

Ще одним завданням селекції є якомога краще пристосування сортів рослин і порід тварин до умов певної місцевості. У цьому процесі значну роль відіграють місцеві селекціонери й селекціонерки. Так, іще наприкінці XIX ст. український садівник Левко Симиренко заснував одну з найбагатших у тогочасній Європі колекцію фруктових, овочевих і ягідних рослин (рис. 39.6) та ввів у вжиток популярний сорт яблук Ренет Симиренка. Василь Юр'єв більшу частину свого життя провів у Харкові, де працював над виведенням нових сортів пшениці, жита, вівса, кукурудзи, які й досі використовуються в Україні. А український селекціонер Василь Ремесло став автором всесвітньо відомого сорту озимої пшениці «Миронівська 808», який було виведено в Миронівському інституті пшениці, що зараз носить його ім'я.



Рис. 39.6. Яблуня, посаджена Левком Симиренко 140 років тому

Елементарно про життя

- 1. Яка з цих тварин НЕ була одомашнена з огляду на риси домашніх тварин?
А сизий голуб **Б** морська свинка **В** індійський слон **Г** віслюк
- 2. Штучний і природний добори схожі тим, що
А унаслідок них виживає найбільш пристосований
Б обоє добирають за ознаками, корисними для людини
В кожен із них відбувається в природі й без участі людини
Г джерелом різноманіття для добору є спадкова мінливість
- 3. Гібридизацію в селекції використовують для
А зменшення рівня прояву потрібної людині властивості
Б появи організмів із корисними ознаками, характерними для обох батьків
В отримання клонів із властивостями, що має батьківський штаб
Г виокремлення серед усього різноманіття особин із найкраще вираженими ознаками
- 4. Серед наведених тверджень про селекцію оберіть те, що містить помилку.
А що більшим є різноманіття нащадків, то більший вибір матиме селекціонер чи селекціонерка для добору
Б завдяки селекції було отримано породи шовкопряда, що виробляють міцніші шовкові волокна
В новий штаб бактерії можна отримати завдяки нестатевому розмноженню вихідного штабу
Г селекціонерська спільнота певного регіону розробляє сорти, пристосовані до місцевих умов
- 5. У відповідність культурну рослину із центром її походження.
- | | |
|------------|----------------------------------|
| 1 кава | А Середземноморський |
| 2 цибуля | Б Китайський |
| 3 вишня | В Середньоазійський |
| 4 соняшник | Г Центральноамериканський |
| | Д Ефіопський |

У житті все просто

- 6. Порівняйте карти, наведені на *рисунках 39.1 і 39.2*. Чи є між ними подібні риси? Як ви вважаєте, чим вони зумовлені?
- 7. Які риси повинна мати рослина, щоб бути одомашненою? Чи є щось спільне із рисами одомашнених тварин?
- 8. Як можуть штучний добір і гібридизація використовуватися незалежно одне від одного? Як це залежить від способу розмноження організму?

У житті не все просто

- 9. Поняття штаб застосовують не лише для клітинних форм живого, але й для вірусів. Як визначають належність вірусів до одного штабу?
- 10. Які сорти злаків найчастіше висіваються українськими аграріями? Звідки вони походять?

§ 40. Селекція рослин і тварин

Штучний добір може бути масовим або індивідуальним

Штучний добір наприкінці XIX ст. значно змінив характер своєї дії. Якщо до цього він відбувався переважно шляхом несвідомого добору рослин і тварин, для отримання потомства, то із розвитком уявлень про успадкування ознак набув цілеспрямованого характеру.

Штучний добір буває двох видів: **масовий** та **індивідуальний**. Під час масового добору селекціонери й селекціонерки виділяють із початкової популяції групу особин із бажаними ознаками й використовують їх для отримання потомства. Найчастіше такий добір застосовують до перехреснозапильних рослин. Проблема масового добору в тому, що організми, відібрані для розмноження, можуть мати різні генетичні причини прояву вигідної ознаки. Тому, унаслідок схрещування їх між собою, прояв ознаки може послаблюватися (розмиватися), а не посилюватися. Проте численні повтори актів масового добору все-таки призведуть до бажаного результату.

Індивідуальний добір ґрунтується на виокремленні особин із бажаними ознаками з метою отримання потомства лише від них. Для цього оцінюють не тільки фенотип (прояв ознаки), але й генотип (його першопричину) шляхом проведення аналізуючого схрещування або дослідження родоводу. Такий вид добору найчастіше застосовують до самозапильних рослин і до більшості видів тварин.

Існують різні способи використання гібридизації в селекції

Інший важливий метод селекції — гібридизація (схрещування). Гібридизація дозволяє створювати нові комбінації ознак у потомства. Залежно від того, чи належать організми, що схрещуються, до одного виду, розрізняють **внутрішньовидову** й **міжвидову** гібридизацію.

Під час внутрішньовидової гібридизації схрещують організми одного виду. Вирізняють два підвиди внутрішньовидової гібридизації: **споріднену (інбридинг)** і **неспоріднену**. У першій із них для схрещування використовують організми, що є родичами й належать до одного сорту чи породи. За такого схрещування цінна ознака в нащадків зберігається й посилюється, оскільки гени, що її визначають, переходять до гомозиготного стану¹. У самозапильних рослин, зрештою, формуються групи особин, що при схрещуванні між собою не дають розщеплення ознак, оскільки є гомозиготними — чисті лінії. Однак у інбридингу є й другий бік медалі — до гомозиготного стану переходять також гени, що пригнічують життєдіяльність. Унаслідок цього у нащадків проявляються різноманітні порушення, що роблять їх менш плодovitими й життєздатними.

Натомість неспоріднена гібридизація посилює життєздатність нащадків. Під час схрещування представників різних сортів або порід, отриманий гібрид має вищу врожайність, родючість, стійкість до несприятливих факторів, ніж

¹ Це зумовлено подібністю генотипів організмів, що схрещуються (бо вони є родичами).



Б

P: ♀ $AAbb$ × ♂ $aaBB$
 середня середня

F₁: $AaBb$
 висока

F₂: 9 $A_B_$ + 3 A_bb + 3 $aaB_$ + 1 $aabb$
 висока середня середня низька

Рис. 40.1. Гетерозис

А. Гібридні сорти кукурудзи, качани яких розташовані посередині, унаслідок гетерозису мають більший розмір. По боках показані батьківські форми.

Б. Схема, що пояснює виникнення й зникнення гетерозису за ознакою врожайності.

предковій лінії (рис. 40.1, А). Це явище називають **гетерозис**¹. Так, наприклад, відповідно до дослідження 2013 року гібриди собак, отримані при схрещуванні різних порід, у середньому живуть довше на 1,2 роки, ніж чистопородні тварини.

Річ у тім, що під час схрещування різних сортів і порід зростає гетерозиготність гібридів. Нехай урожайність деякої рослини визначається парою генів A і B , які взаємодіють за принципом комплементарності² (рис. 40.1, Б). Особи з генотипом $A_B_$ мають високу врожайність, A_bb і $aaB_$ — середню, а $aabb$ — низьку. Якщо схрещувати дві лінії з середньою врожайністю $AAbb$ і $aaBB$, то в першому поколінні отримують дигетерозигот $AaBb$, що мають високу врожайність. Крім того, на протигагу змінам під час інбридингу, при неспорідненому схрещуванні гени, що знижують життєздатність, переходять до гетерозиготного стану й втрачають несприятливий вплив.

Але наступні схрещування між представниками гетерозисного сорту чи породи є спорідненим схрещуванням і спричиняють поступову втрату переваги, оскільки серед нащадків зростає кількість гомозигот. Тому гетерозис найбільше проявляється в першому поколінні, яке в рослин надалі підтримують шляхом вегетативного розмноження. Значна кількість сортів плодових дерев, а також швидкорослі і швидкостиглі бройлерні кури є зразками гетерозисних гібридів (рис. 40.2).



Рис. 40.2. Вирощування бройлерних курей

¹ Від грец. *heteros* — інший і *-ois* — стан.

² За комплементарності прояв ознаки визначається одночасною присутністю кількох домінантних алелів у певному стані.

Завдяки міжвидовій гібридизації вдається поєднати ознаки різних видів

Унікальні риси мають гібриди, отримані шляхом міжвидової гібридизації. Зазвичай у природі різні біологічні види не схрещуються між собою — у цьому полягає суть принципу репродуктивної ізоляції видів¹. Але завдяки селекції вдається отримати такі гібриди. Яскравим прикладом є тритікале² — гібрид пшениці й жита, що поєднує врожайність і харчової якості пшениці з невибагливістю та стійкістю до захворювань жита (рис. 40.3). Іншими зразками є логанова ягода (гібрид ожини й малини), перцева м'ята (гібрид водяної і колосовидної м'ят). Хоча не завжди гібрид набуває бажаних властивостей. За схрещування редьки й капусти дослідники й дослідниці сподівалися, що гібрид отримає «вершки» від капусти, а «корінці» — від редьки. Але в результаті він мав листя, як у редьки та невеликий корінь, як у капусти.



Рис. 40.3. Міжвидові гібриди рослин

А. Тритікале. Б. Логанова ягода. В. Перцева м'ята.

У процесі отримання міжвидового гібриду серйозною проблемою виявляється його подальше розмноження. Через те, що зазвичай набір хромосом гібрида містить два гаплоїдні набори різних видів, під час мейозу не відбувається правильне розподілення хромосом і гамети не утворюються. Тому дуже часто міжвидові гібриди є стерильними. Так, під час схрещування віслюка й кобили народжується мул, що є безплідним (рис. 40.4, А). Проте він знаходить практичне застосування — завдяки силі коня, але витривалості й розмірам віслюка, він здатний перевозити вантажі вузькими гірськими стежками. У рослин ця стерильність (безплідність) була подолана природою, а згодом і людиною, шляхом подвоєння набору хромосом (дивись нижче).

Однак іноді трапляються приклади віддаленої гібридизації тварин, що призвели до виникнення нових плодовитих гібридів. Найяскравіший зразок — бістер — гібрид білуги та стерляді, який швидше росте й має смачне

¹ Однак із цього правила існують і винятки: алича є гібридом сливи й терну, а людський геном містить гени неандертальців, які не були нашими основними предками. Тому міжвидове схрещування, згідно зі синтетичною теорією еволюції є одним із шляхів видоутворення.

² Від латинських назв пшениці — *Triticum* і жита — *Secale*.



Рис. 40.4. Міжвидові гібриди тварин

А. Мул. **Б.** Бістер. **В.** Зеброїд.
Г. Леопон.

м'ясо (рис. 40.4, Б). Крім нього, є багато дивовижних гібридів, отриманих здебільшого шляхом штучного запліднення, такі як зеброїд (гібрид самця зебри і кобили), косаткодельфін, леопон (гібрид леопарда й левиці) та інші (рис. 40.4, В, Г).

Поліплоїдія дозволяє збільшувати розмір рослин і долати безпліддя міжвидових гібридів

Характерною особливістю рослин, що розкриває широкі можливості для роботи селекціонера чи селекціонерки, є їхня схильність до **поліплоїдії** — кратного збільшення кількості гаплоїдних хромосомних наборів (n). Така генотипна мутація спричиняє виникнення організмів із три- ($3n$), тетра- ($4n$), пента- ($5n$), гексаплоїдними ($6n$) наборами хромосом (і навіть більше). Зазвичай такі поліплоїдні рослини більші за диплоїдні за розміром (рис. 40.5, А). Зростання кількості хромосомних наборів можна легко досягти хімічною обробкою рослини, що веде до руйнування веретена поділу.

Як ви знаєте, особини із непарною кількістю наборів хромосом є стерильними, бо не можуть здійснити мейоз. Тому при схрещуванні тетраплоїдної рослини кавуна з диплоїдною з'являтимуться триплоїдні кавуни без насіння (рис. 40.5, Б). Подібна безнасінність у триплоїдних бананів виникла під час міжвидової гібридизації в природі (рис. 40.5, В). Надалі ці рослини розмножують вегетативним способом.



Рис. 40.5. Плоди поліплоїдних рослин є більшими за плоди диплоїдних

А. Порівняння розмірів поліплоїдної та диплоїдної полуниці. **Б.** Триплоїдний кавун без насіння. **В.** Більший безнасінний банан виріс на триплоїдній рослині, тоді як менший насінний — на диплоїдній.

Здатність рослин утворювати поліплоїди дозволила подолати стерильність багатьох природних і штучних міжвидових гібридів. Оскільки в поліплоїдів із парними наборами хромосом ($4n$, $6n$, $8n$) до гамет потрапляє кілька наборів гомологічних хромосом (відповідно $2n$, $3n$, $4n$), то в каріотипі міжвидового гібрида в кожній з хромосом точно буде гомологічна пара, і мейоз зможе відбутися як зазвичай. Завдяки цьому природні й штучні міжвидові гібриди, як от гексаплоїдна м'яка пшениця чи тритікале, є плідними й утворюють насіння.

Завдяки закону гомологічних рядів спадковості можна спрогнозувати властивості майбутніх сортів і порід

Обмежене використання в селекції рослин має також метод **штучного мутагенезу**. Під час нього насіння або пилки рослин опромінюють чи обробляють хімічними речовинами, унаслідок чого виникають мутації в ДНК. Рослини, що утворюються завдяки такому насінню чи пилку, інколи мають нові ознаки, що можуть стати в нагоді для селекції. Із упродовженням генної інженерії (детальніше про неї йтиметься в § 42) цей метод стали застосовувати дедалі рідше.

У передбаченні особливостей мутантів, яких варто очікувати від мутагенезу, корисним є **закон гомологічних рядів спадкової мінливості**, сформульований Миколою Вавиловим¹. Його суть полягає в тому, що в споріднених видів і родів спостерігаються подібні ряди спадкової мінливості (набори варіантів, розташованих в певному порядку) (рис. 40.6). Із цього випливає, що якщо вивчити ряди мінливості близьких видів, то можна спрогнозувати можливість існування подібних форм у виду, що підлягає селекції. Закон має логічне еволюційно-генетичне підґрунтя: що більш спорідненими є види, то пізніше в еволюційній історії відбулося їх відокремлення від спільного предка (дивергенція) і більш подібними є їхні геноми. А тому й мутації в них спричиняють подібні ефекти.

Спираючись на цей закон, селекціонери й селекціонерки рослин і тварин можуть цілеспрямовано знаходити потрібні варіанти серед різноманітних форм як культурних рослин і домашніх тварин, так і в їхніх диких родичів. Крім того, закон гомологічних рядів важливий для розуміння механізмів еволюційного процесу й виникнення подібних ознак у еволюції близькоспоріднених груп організмів.

¹ Тому цей закон часто називають законом Вавилова.

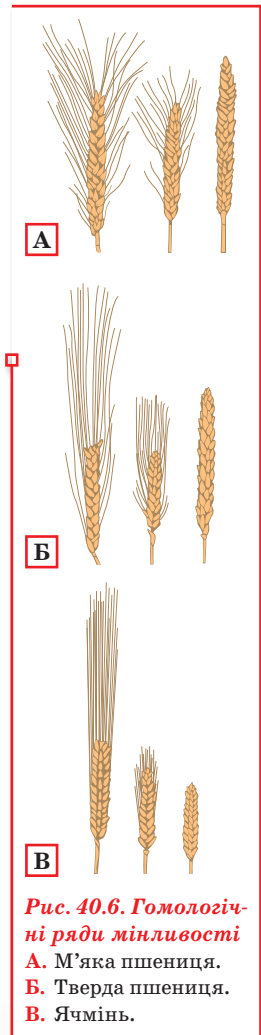


Рис. 40.6. Гомологічні ряди мінливості
А. М'яка пшениця.
Б. Тверда пшениця.
В. Ячмінь.

Селекція — це сила, що вічно прагне блага, але інколи творить зло

Класичні методи селекції, що використовуються тисячоліттями, дозволяють отримати потрібні людині сорти й породи. Однак подекуди їх результати є небезпечними для людей чи власне живих істот. У 1967 році на ринок було випущено сорт картоплі «*Lenape*», який вирізнявся високим умістом крохмалю в бульбах і стійкістю до хвороб. Але вже за 3 роки виявилось, що картоплини є отруйними через підвищений у чотири рази вміст глікоалкалоїдів у них, і сорт було вилучено з ужитку.

Яскравим прикладом негативних наслідків селекції тварин, є поява схильності до хвороб і порушень у багатьох порід собак. У гонитві за великою силою укусу бійцівських собак чи «людяністю обличчя» було виведено породи із вкороченою мордою: бульдогів, боксерів, мопсів, пекінесів (рис. А). Через зменшення довжини верхньої щелепи в цих тварин порушено будову дихальних шляхів. Тому короткоморді собаки мило хроплять уві сні, але й часто страждають від численних хвороб дихальної системи, важко переносять спеку, фізичні навантаження і стрес.

Ба більше, неприродна форма голови може стати причиною ускладнень пологів і смерті матері з цуценятами. Породи собак із великими вухами й обвислою шкірою (бігли, басет-хаунди) є «улюбленцями» вушних і шкірних інфекцій. Майже кожна такса протягом життя через вроджений надмірний розтяг хребта страждає від порушень міжхребцевих хрящових дисків. А німецькі доги, через зміни пов'язані з їхнім великим розміром тіла, мають найкоротшу серед собак середню тривалість життя — лише близько 7 років.

У сільськогосподарських порід теж є проблеми. Так, корови й бики бельгійської блакитної породи мають мутацію в гені міостатину, тому їхні м'язи виростають на 20 % більшими, що робить цих тварин дуже м'язистими й вигідними для розведення (рис. Б). Однак надмірна мускулатура спричиняє звуження статевих шляхів корів і, відповідно, важкі, смертельно небезпечні пологи. Тому сучасним і майбутнім селекціонерам і селекціонеркам у своїй роботі треба зважати не лише на селекційні цілі, але й благополуччя живих організмів і здоров'я споживачів.



А

Рис. А. Бульдог має вкорочену верхню щелепу й численні проблеми зі здоров'ям через це.



Б

Рис. Б. Бики блакитної бельгійської породи мають збільшену м'язову масу.

Елементарно про життя

■ 1. Створення сорту Фіалки шорсткої з дуже опушеним листям шляхом тривалого вирощування лише фіалок цього виду із найбільшою щільністю волосків на листках є прикладом

- А** міжвидової гібридизації **Б** індивідуального штучного добору
В масового штучного добору **Г** неспорідненої гібридизації

■ 2. Бройлерні кури швидко ростуть, оскільки є

А результатом тривалого масового природного добору

Б спеціальною породою курей

В нащадками від схрещування різних видів птахів

Г гібридами різних порід курей

■ 3. Гетерозис можна побачити під час схрещування

А близькоспоріднених організмів

Б організмів однієї чистої лінії

В неспоріднених організмів одного виду

Г організмів різних видів

■ 4. Схожість варіантів мінливості будови колоса в пшениці та ячменю пояснюється

А гетерозисом **Б** можливістю їхнього схрещування в природі

В їхньою спорідненістю **Г** їхнім одночасним окультуренням

■ 5. У селекції тварин НЕ використовують

А штучний добір **Б** наслідки закону гомологічних рядів спадкової мінливості

В міжвидову гібридизацію **Г** методи створення поліплоїдів

■ 6. У відповідність поняття та його значення.

1 гетерозис

А схрещування організмів різних сортів і порід

2 штучний

Б цілеспрямоване внесення змін до ДНК організмів

мутагенез

В отримання потомства лише від найцінніших особин

3 поліплоїдія

Г підвищення врожайності гібридів першого покоління

4 штучний добір

Д кратне збільшення числа гаплоїдних наборів хромосом

У житті все просто

■ 7. У сільськогосподарських магазинах можна купити насіння рослин із поміткою «F₁». Чим так особливі гібриди першого покоління? Чому гібриди другого покоління гірші для отримання врожаю?

■ 8. Що є загальним у селекції рослин і тварин? Чим вони відрізняються?

■ 9. Які проблеми селекції дозволяє вирішити створення поліплоїдів?

У житті не все просто

■ 10. Чи трапляються поліплоїди серед тварин? Чи можливо їх створити штучно?

■ 11. Закон гомологічних рядів спадкової мінливості пояснює схожість еволюційних процесів у споріднених організмів — їхній паралелізм. Наведіть приклади паралелізму в дикій природі. Які висновки роблять еволюційні біологи та біологи-ні на основі його вивчення?

§ 41. Селекція мікроорганізмів

Здавна людина використовує мікроорганізми для господарських потреб

Коли йде мова про використання живих організмів людиною для господарських потреб, насамперед, наводять приклади використання рослин і тварин. Проте людина з найдавніших часів навчилася застосовувати мікроорганізми: бактерії, одноклітинні еукаріоти, а також мікроскопічні гриби й водорості. Отримання кисломолочних продуктів, пива, вина, сиру, квашених овочів неможливе без роботи мікроорганізмів-бродильників (табл. 41.1). Наймовірніше, першим продуктом, отриманим із використанням мікроорганізмів, є пиво. Найдавніші пивні дріжджі було знайдено ще в єгипетських гробницях. Спочатку дикі дріжджі випадково потрапляли до замоченого зерна, що призводило до початку бродіння. Потім люди під час виготовлення пивних напоїв почали додавати до нового суслу закваску від попередньої, що вже містила дріжджі¹. Отже, людина, сама того не усвідомлюючи, почала культивувати дріжджі. Пізніше виявилось, що закваски відрізняються: із деяких виходить пиво кращої якості, ніж з інших. Так почався процес штучного добору. Подібний добір працював і під час отримання інших продуктів. Унаслідок цього було виведено нові штами дріжджів, бактерій і грибків, продуктивніших або зручніших у застосуванні. Кожен із цих штамів адаптований до спеціальних умов, що використовуються в технології отримання того чи того продукту. Цікаво, але про роль дріжджів у бродінні людство дізналося лише в середині XIX ст., завдяки роботам великого французького мікробіолога Луї Пастера.

Також мікроорганізми застосовуються для виробництва антибіотиків. Найвідомішими виробниками антибіотиків є плісняві гриби пеніцили, а також бактерії стрептоміцети й актиноміцети². Шляхом штучного добору було

Таблиця 41.1. Продукти харчування, для виготовлення яких використовують мікроорганізми

Продукт	Тип бродіння	Мікроорганізми
Хліб	Спиртове бродіння (необхідне для утворення бульбашок вуглекислого газу, які забезпечують пухку структуру хліба)	Дріжджі
Пиво	Спиртове бродіння	Дріжджі
Вино	Спиртове бродіння	Дріжджі
Текіла	Спиртове бродіння	Дріжджі, бактерії
Оцет	Оцтовокисле бродіння	Бактерії
Кефір	Молочнокисле бродіння	Бактерії
Сир	Молочнокисле бродіння	Бактерії, гриби

¹ Більша частина штамів дріжджів, які використовуються людиною у випіканні хліба, виворобстві й пивоварінні, отримана з пекарських дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, але є і штами, отримані від інших видів.

² Виділення антибіотиків є способом конкуренції за відмерлі органічні рештки: пригнічення чи смерть конкурентів підвищує кількість поживного субстрату, доступного продуцентам антибіотиків.

отримано штами цих мікроорганізмів, які виробляють антибіотики в значно більшій кількості, ніж їхні природні предки. Окрім продуктів харчування й антибіотиків, організми мікроскопічного розміру культивують для отримання білків, вітамінів, спиртів і карбонових кислот, амінокислот, ферментів, пігментів та інших біологічно активних речовин.

Селекція мікроорганізмів суттєво відрізняється від селекції макроорганізмів

Селекція мікроорганізмів суттєво відрізняється від селекції тварин і рослин. По-перше, селекціонер/селекціонерка має доступ до практично необмеженої кількості індивідів — 1 мл поживного середовища може містити мільйони клітин мікроорганізмів. Окрім того, швидкість росту культури є надзвичайно високою, оскільки проміжок між клітинними поділами обчислюється десятками хвилин (прокаріоти) або годинами (еукаріоти). Тому зміна поколінь відбувається надзвичайно швидко й отримання нового штаму займає лічені дні.

Через різноманіття штамів у природі можливості штучного добору для мікроорганізмів є дуже великими. З другого боку, щоб знайти, наприклад, найпродуктивніший штам, знадобиться багато часу на перевірку всіх доступних штамів.

Водночас гібридизацію практично не використовують для отримання нових штамів мікроорганізмів. Річ у тім, що в їх більшості (у прокаріотів, багатьох одноклітинних еукаріотів) відсутнє статеве розмноження. Але навіть для тих мікроорганізмів, у яких статеве розмноження наявне (наприклад, у пекарських дріжджів), його досить важко контролювати. Однак, перенести спадкову інформацію від одного мікроорганізму до іншого можливо. Для цього існує ряд методів, наприклад, під час кон'югації чи за допомогою бактеріофага¹ (рис. 41.1). Завдяки цим методам корисні властивості одного штаму чи виду можуть передаватися іншому.

¹ Таке явище має назву трансдукція і є основою горизонтального перенесення генів у прокаріотів — потрапляння генів із геному організмів одного виду до геному організмів іншого неспорідненого виду.

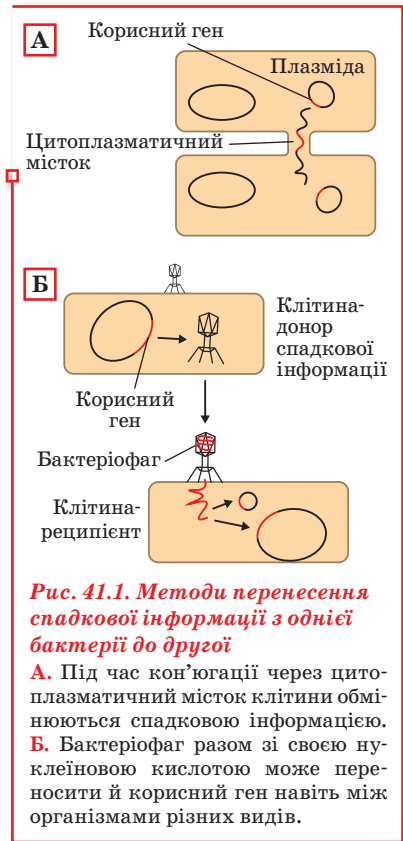


Рис. 41.1. Методи перенесення спадкової інформації з однієї бактерії до другої

А. Під час кон'югації через цитоплазматичний місток клітини обмінюються спадковою інформацією. **Б.** Бактеріофаг разом зі своєю нуклеїновою кислотою може перенести й корисний ген навіть між організмами різних видів.

Однак деякі методи, що обмежено застосовуються в селекції тварин і рослин, знаходять широке застосування в селекції мікроорганізмів. Велика чисельність популяції, швидкий ріст і проста організація геному дозволяє широко використовувати штучний мутагенез для отримання організмів із новими властивостями.

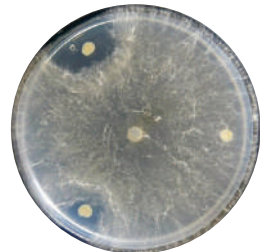
Тривалий час у селекції використовували винятково **неспрямований штучний мутагенез**. Мутації у разі його застосування відбуваються деінде в геномі. Для здійснення неспрямованого штучного мутагенезу культуру мікроорганізму опромінують ультрафіолетовими чи рентгенівськими променями або обробляють мутагенними речовинами. При цьому переважна більшість клітин (подекуди понад 99 %) мутує так, що не може далі жити й швидко гине. Але через те, що кількість клітин із мутаціями обчислюється мільйонами, існує невелика ймовірність, що в одній із них мутація (чи мутації) спричинить саме той ефект, що потрібний для селекції. Оскільки мікроорганізми мають гаплоїдні геноми¹, то мутації проявляються одразу в першому ж поколінні. Надалі селекціонерам і селекціонеркам потрібно лише віднайти цих мутантів і відокремити їх у нову культуру. Для цього аналізують ступінь прояву корисної властивості: як багато утворюють потрібної речовини, як швидко ростуть, яка стійкість до різних умов середовища тощо (рис. 41.2).

Характерним прикладом суміщення неспрямованого мутагенезу й штучного добору є отримання нових штамів пліснявого грибка пеніцила, здатних виробляти антибіотик пеніцилін у більшій кількості, ніж природні форми. Завдяки мутагенезу, що поєднується з добром найбільш продуктивних колоній, продуктивність пеніцила було збільшено в тисячі разів.

Неспрямований штучний мутагенез не завжди є ефективним способом селекції через те, що лише деколи зміна одного гена може спричинити покращення потрібної властивості організму. Якщо ж властивості залежать від взаємодії продуктів кількох генів, то ймовірність, що корисні мутації відбудуться одразу в багатьох із них, майже нульова. Тут на допомогу мікробним селекціонерам і селекціонеркам прийшов розроблений у другій половині ХХ ст. **спрямований штучний мутагенез**. Під час спрямованого мутагенезу дослідники й дослідниці здійснюють мутації в чітко визначених місцях геному. Завдяки цьому змінюється регуляція роботи генів й характеристики обміну речовин, збільшується чи зменшується кількість певних ферментів у клітині та, як наслідок, зростає

Рис. 41.2. Пошук штаму із найбільшим рівнем продукції антибіотика

- Серед чотирьох штамів (жовтувато-білі колонії) найбільшу кількість антибіотика утворює той, чия колонія розміщена зліва зверху. Про це свідчить найбільша площа зони пригнічення росту (прозора ділянка) чутливої до антибіотика бактерії (біла поволока).



¹ Тобто в клітині наявна лише одна унікальна копія ДНК.

вироблення потрібного продукту чи стійкість клітин до несприятливих факторів. Для його здійснення використовують методи генетичної інженерії, про яку йтиметься в наступних параграфах.

У методу спрямованого штучного мутагенезу теж є недоліки. По-перше, його важче реалізувати технічно. А по-друге, перед мутагенезом потрібно заздалегідь з'ясувати, куди і яку мутацію треба внести. А це зазвичай потребує розшифрування послідовності нуклеотидів у геномі, визначення функцій генів, з'ясування регуляторних механізмів і інших, не менш важливих, характеристик.

Традиційними напрямками селекції є пошук найпродуктивніших, найстійкіших і найбільш економічно вигідних штамів

Селекція мікроорганізмів має на меті виведення штамів, що є найкращими в застосуванні. Найчастіше такі штами характеризуються високою продуктивністю цільової речовини. З другого боку, чим більше клітин існуватиме в культурі в певний проміжок часу, тим більшою буде загальна кількість корисної речовини, яку вона виробляє¹. Тому під час штучного добору шукають такі штами, що були б не лише високопродуктивними, а ще й швидко росли. Важливою рисою, за якої здійснюється селекція, є стійкість культури до забруднення іншим мікроорганізмом. Зрештою, менша вимогливість до умов середовища, а також здатність рости на дешевих субстратах є економічно вигідними рисами штаму мікроорганізму, який хоче знайти своє індустріальне застосування.

Перспективним напрямком селекції мікроорганізмів є створення нових штамів для боротьби із забрудненнями

Не є таємницею той факт, що в сучасному світі часто трапляються природні катастрофи техногенного характеру — розливи нафти або викиди токсичних відходів. Існує безліч шляхів боротьби з наслідками забруднень, які вже відбулися, і останнім часом ефективнішим стає використання живих організмів для розкладання забруднювачів. Прикладом успішної роботи в цьому напрямі є добір бактерій, які засвоюють нафту (рис. 41.3). Хоча нафта й не трапляється в природних екосистемах, виявилось, що є мікроорганізми, здатні засвоювати нафтопродукти як джерело Карбону. Ця властивість була значно посилена шляхом штучного добору. На сьогодні розглядаються програми широкого впровадження цих бактерій для боротьби з нафтовими забрудненнями морів і ґрунтів.

¹ Це справедливо лише до певної межі густоти культури.



Рис. 41.3. Бактерії, що розкладають нафту

У лівій колбі нафтопродукти були розщеплені штамами бактерій, здатними засвоювати нафту.

Елементарно про життя

- 1. Оберіть продукти, для виготовлення яких використовують дріжджі.
А пиво, сало, хліб **Б** оцет, вино, сир **В** вино, йогурт, пиво **Г** хліб, пиво, вино
- 2. У селекції мікроорганізмів кон'югацію можна використати для
А перенесення інформації від одного виду бактерій до іншого
Б прискорення розмноження дріжджів
- **В** обміну ДНК між різними штамми бактерій
Г спрямованого мутагенезу грибів, що утворюють антибіотики
- 3. Двоє студенток висловилися про неспрямований штучний мутагенез.
Таїсія переконана, що під час нього гине більшість бактерій. Ірина стверджує, що завдяки неспрямованому мутагенезу завжди можна покращити потрібну властивість. Хто з дівчат має рацію?
А тільки Таїсія **Б** тільки Ірина **В** обоє дівчат **Г** жодна з них
- 4. Бактерії, що споживають нафту,
А не трапляються в природі **Б** можна використати для очищення морів
В було отримано шляхом гібридизації **Г** виникли внаслідок штучного добору
- 5. Увідповідніть властивість мікроорганізмів, що її покращують, і мету селекції в цьому напрямку.
 - 1 частота поділів клітини **А** збільшення утворення потрібної речовини
 - 2 стійкість до наявності **Б** можливість використання дешевшої сировини
 - домішок у субстраті **В** зменшення утворення побічних продуктів
 - 3 стійкість до забруднення **Г** економія на підтриманні високого рівня
 - іншим мікроорганізмом **стерильності**

У житті все просто

- ■ 6. Складіть порівняльну таблицю описаних видів мутагенезу. Сформулюйте вимоги до ознаки, яку можна покращити неспрямованим мутагенезом.
- 7. Як цілі селекції мікроорганізмів відрізняються від цілей селекції рослин і тварин? Чим це зумовлено?

У житті не все просто

- ■ 8. За якими ознаками відбувалася селекція штамів дріжджів, які використовують у пивоварінні? Які їх властивості є найважливішими для цього виробництва?
- 9. Один із напрямів селекції мікроорганізмів — пошук продуцентів нових антибіотиків. Які з них було використано в промисловості в останнє десятиліття? Чи виводять нині нові, покращені, штами вже відомих продуцентів антибіотиків?

Проект для дружньої компанії

- 10. Промислове мікробіологічне виробництво.
- 1) З'ясуйте, які розташовані поряд підприємства використовують мікроорганізми у виробництві. Дізнайтесь, що та завдяки яким організмам вони виробляють.
- 2) Скориставшись допомогою учительки чи вчителя, спробуйте організувати експерсію на одне з цих підприємств.

§ 42. Генна й клітинна інженерія

Методи генної інженерії дозволяють створювати генетично модифіковані організми

Традиційну селекцію можна розглядати як певну генетичну маніпуляцію — дії селекціонера/селекціонерки призводять до спрямованих змін генофонду популяції. Але такий вплив на генотипи є опосередкованим. Нині знання базових генетичних механізмів відкриває шлях до безпосередніх маніпуляцій із генетичним матеріалом — ДНК організму. Сукупність методів зміни спадкового матеріалу організмів із метою отримання в них або їх нащадків заданих властивостей називають **генною (генетичною) інженерією**. Організм, чий геном було змінено, уважають **генетично модифікованим організмом (ГМО)**.

У генній інженерії можливі два основних підходи. Перший — редагування генома з метою покращення властивостей. Цей підхід дозволяє позбутися небажаних ознак або посилити необхідні. Другий підхід — перенесення гену із генома одного організму до генома іншого. Метою цього підходу є отримання одним організмом бажаної ознаки, що характерна іншому — донорові гена. Такий організм, у геномі якого є чужорідний ген, отримав назву **трансгенний**. Важливо розуміти, що ГМО є ширшим поняттям, ніж трансгенний організм, але будь-який трансгенний організм в будь-якому разі є ГМО.

Завдяки генетичній рекомбінації формуються нові молекули ДНК

Ключовим етапом отримання генетично модифікованого організму є об'єднання різних молекул ДНК для подальшої генної модифікації. Процес об'єднання декількох молекул ДНК в одну називають **генетичною рекомбінацією**. Здійснюють цей процес так: обидві молекули ДНК обробляють спеціальними ферментами — рестриктазами, які розрізають дволанцюгову ДНК у певних місцях. При цьому утворюються «липкі кінці» — ділянки одноланцюгової ДНК, що мають властивість формувати дволанцюгову структуру разом із комплементарною ділянкою іншої ДНК — іншим «липким кінцем». Під час змішування різних молекул ДНК, які мають липкі кінці, відбувається їх об'єднання в єдину рекомбінантну молекулу ДНК. Далі обидва однониткові розриви зшивають за допомогою ферменту ДНК-лігази (рис. 42.1).

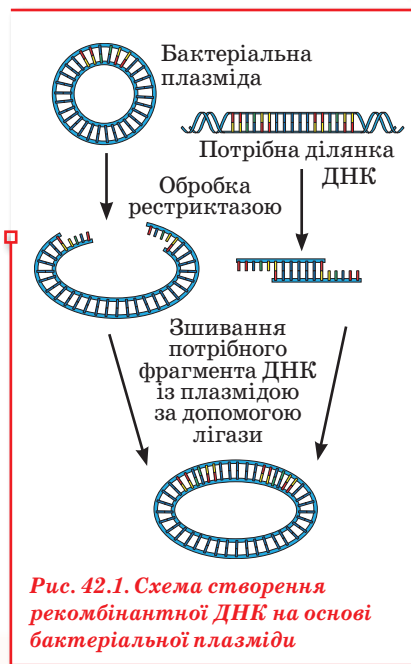


Рис. 42.1. Схема створення рекомбінантної ДНК на основі бактеріальної плазміди

Здійснити генетичну модифікацію мікроорганізмів не складно

Генетична модифікація бактерій є доволі рутинною процедурою. У природніх умовах бактерії здатні захоплювати з довкілля невеликі фрагменти ДНК і включати їх у свій геном. Цей процес називають **трансформацією**. У лабораторії природодослідник чи дослідниця може створювати умови, що полегшують трансформацію, забезпечуючи захоплення відносно великих молекул ДНК, наприклад, плазмід. Зазвичай для цього клітини бактерій піддають дії стресових факторів: високої температури, електричного поля, хімічних реагентів. Завдяки їм у мембрані бактерій утворюються тимчасові пори, через які до клітини й проникає ДНК із чужими генами (рис. 42.2). У такий спосіб було отримано клітини кишкової палички, здатні синтезувати людський інсулін¹, інтерферон, гормон росту соматотропін та інші білки, що застосовують у медицині.

Окрім синтезу чужорідних речовин, завдяки генній інженерії вдалося отримати штами, що виробляють у більших кількостях антибіотики, вітаміни, амінокислоти та інші природні для бактерій речовини. Здебільшого це було досягнуто завдяки порушенню механізмів регуляції синтезу або введенню додаткових копій генів.

Генетична модифікація рослин може здійснюватися з використанням бактерій-симбіонтів

Варто зазначити, що чим більше геном організму, тим складніше здійснити генетичну модифікацію. Для доставки модифікувального фрагмента ДНК до ядра клітини макроорганізму необхідно обійти захисні системи тіла й кожної клітини, що покликані підтримувати сталість і стабільність генетичного матеріалу. Особливо досконалий цей захист у багатоклітинних еукаріот — рос-

¹ До цього для отримання 100 г інсуліну переробляли одну тону підшлункових залоз, отриманих від 4 тисяч корів!



Рис. 42.2. Генетична модифікація бактерій

Завдяки рестриктазі вирізається потрібний фрагмент із чужорідної ДНК, а також розрізається плазміда. Отримані ДНК зшиваються лігазою для отримання плазміди для трансформації. Після неї не всі бактерії отримують плазміду. І в поживному середовищі з антибіотиком виростають лише ті, що отримали плазміду з геном стійкості до нього.

1. Чужорідна ДНК.
2. Плазміда.
3. Ген стійкості до антибіотику.
4. Обробка рестриктазою.
5. Цільовий ген.
6. Вбудовування гена до плазміди.
7. Трансформація.
8. Вирощування трансформованих клітин.

лин і тварин. Але тут на допомогу селекціонеру чи селекціонерці приходять неочікувані союзники — віруси й паразитичні бактерії — природжені «зломцики» геномів, які сотні мільйонів років еволюції розвивали в собі цю властивість.

Для генетичної модифікації рослин перенесення генів найчастіше здійснюють, використовуючи **агробактерії**. Ці симбіотичні бактерії здатні інфікувати рослинні тканини, спричиняючи розвиток пухлин, які бактерія згодом заселяє. Для забезпечення пухлинного переродження, агробактерія вводить до рослинної клітини свою плазмідну, яка вбудовується в ядерний геном. Якщо вставити до плазмідної агробактерії потрібний ген, то завдяки природним механізмам його буде вбудовано до геному рослин. При цьому генетична модифікація агробактерії, як уже зазначалося, не є проблемою (рис. 42.3, А).

Для створення повністю генетично модифікованих рослин потрібна зміна геному всіх клітин тіла. Оскільки модифікувати зиготу в покритонасінних рослин складно через наявність численних захисних покривів, то в генній модифікації використовують технологію вирощування рослин із окремих клітин твірної тканини (рис. 42.3, Б).

Окрім застосування агробактерій, є й інші шляхи доставки ДНК до клітин рослин. Одним із найбільш популярних є використання **генної гармати**: рослинну тканину бомбардують наночастинами золота, вкритими ДНК. Також можна вводити ДНК безпосередньо до клітин за допомогою шприца — проводити **мікроін'єкцію**.

Одна з найбільш відомих генномодифікованих рослин — «золотий» рис (рис. 42.4). «Золотий» рис має таку назву через помаранчевий колір ендосперму, якого йому надають пігменти-каротиноїди. Гени для їх утворення були отримані від нарцису й ґрунтової бактерії ервінії. У майбутньому використання «золотого» рису в бідних країнах зможе вирішити проблеми авітамінозу й гіповітамінозу вітаміну А, провітаміном якого є помаранчево-жовтий пігмент β -каротин, і зберегти мільйони життів¹.



Рис. 42.3. Генетична модифікація рослин із використанням агробактерій

А. Схема модифікації.

Б. Вирощування рослин із твірної тканини.

¹ Хоча «золотий» рис і було отримано у 2000 році, він досі не вирощується через супротив влади й природоохоронних організацій (наприклад, «Greenpeace»).



Рис. 42.4. Звичайний рис і «золотий» рис

ковані кукурудзу, сою, квасолу, рис, пшеницю, картоплю, гарбузи, баклажани, помідори, солодкий перець, яблука.

Генетична модифікація тварин здійснюється з різними цілями

Для доставки до геному тварин чужорідних генів найчастіше використовують віруси. А модифікацію великих клітин, як-от рибних ікринок або яєць птахів, зазвичай здійснюють шляхом ін'єкції генів безпосередньо всередину клітини.

Прикладом генетично модифікованих тварин, які використовуються вже сьогодні, є кози, що продукують людський білок лактоферин. Завдяки наявності гена людини в геномі, кози виробляють молоко, що містить цей білок. Далі з молока виділяють і очищують власне лактоферин. У такий спосіб можна отримувати й виводити з організму тварин і інші білки людини: антитіла, компоненти крові тощо.

Іншим прикладом тварини зі зміненим геномом є лосось із прискореним ростом (рис. 42.5, А). Для його створення рибі було введено ген, що спричинив постійний синтез гормону росту¹. Це забезпечило цілорічний ріст лосося і, як результат, швидше збільшення маси його тіла. Він виявився першою генетично модифікованою твариною, м'ясо якої було дозволено продавати й споживати. Понад те, тепер генетично модифікованих риб можна побачити навіть у домашніх акваріумах (рис. 42.5, Б).

Перспективним напрямом генетичної модифікації є отримання сільськогосподарських тварин, стійких до інфекційних захворювань. Так, у Великій Британії виведено генетично модифікованих свиней, стійких до вірусу репродуктивно-респіраторного синдрому. Використання таких тварин, які мають уроджену стійкість до захворювань, дозволить знизити вартість м'ясних продуктів.

Ще одним важливим напрямом генної інженерії є боротьба з тваринами-переносниками інфекційних захворювань. Так, у лабораторних умовах отримують генетично модифікованих комарів, чиє потомство від схрещування

¹ Зазвичай гормон росту у океанічного лосося синтезується лише навесні й улітку.

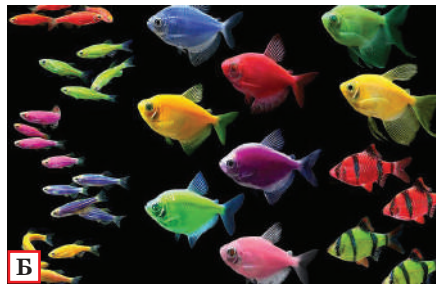


Рис. 42.5. Генетично модифіковані тварини

А. Атлантичний лосось *AquaAdvantage* з прискореним ростом (позаду) порівняно зі звичайною особиною того ж віку. **Б.** Акваріумні рибки *GloFish*, які флуоресціюють.

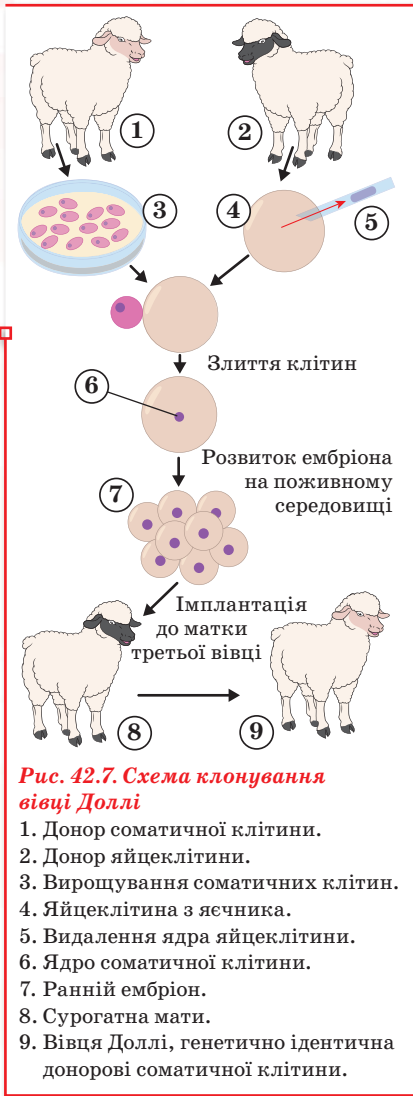
з дикими комарами нежиттєздатне. Їх планують випускати в природу, де вони будуть спаровуватися з дикими комарами, переносниками інфекцій, знижуючи їхню чисельність.

Клітинна інженерія дозволяє отримувати культури клітин із потрібними властивостями

Проведення генетичної модифікації живих організмів часто пов'язане з роботою з вилученими з організму клітинами й тканинами. Комплекс методів роботи з окремими клітинами багатоклітинних організмів, їх вирощування, генетична модифікація й отримання з них життєздатних тканин і органів, називають **клітинною інженерією**. Основою клітинної інженерії є метод **клітинних культур** — сукупність прийомів вирощування клітин багатоклітинних тварин і рослин поза організмом. Саме з культурами клітин зручно здійснювати генетичні операції.

Клітинні культури вищих рослин, про які вже згадувалося, отримують із клітин твірної тканини. Тваринні ж клітинні культури використовують як продуценти білків, наприклад, антитіл і інтерферону. Для їхнього отримання потрібна велика кількість клітин імунної системи. Але В-лімфоцитів, які утворюють один тип антитіл, в організмі мало та їх досить складно виділити. Тому створюють клітинну культуру **гібридоми** (рис. 42.6). Для цього лімфоцит потрібного типу зливають із раковою клітиною, що призводить до об'єднання





їхнього генетичного матеріалу. Цей процес називають **соматичною гібридизацією**. Отримана клітина — гібридома — здатна до необмежених поділів і при цьому синтезує необхідні антитіла. Гібридоми далі вирощують у поживному середовищі у вигляді культури клітин і отримують із них бажаний продукт.

Клітини з культури можна використати також для вирощування тканин і навіть цілих органів з метою їхньої наступної трансплантації. Подібні технології в майбутньому зможуть докорінно змінити медицину.

Отримання клонів тварин є реальним

Потенційно рослину можна виростити з єдиної клітини твірної тканини дорослого організму, отримавши генетично ідентичний організм — **клон**. Але для тварин такий спосіб не прийнятний, оскільки клітини дорослої тварини не здатні нескінченно ділитися й спеціалізуватися. Але й це обмеження можна обійти, скориставшись операцією пересадки ядра (рис. 42.7). Для цього із клітини тіла дорослого організму (соматичної клітини) вилучають ядро й переносять його до незаплідненої яйцеклітини з видаленим ядром. Отримана клітина буде аналогічною зиготі: вона нестиме диплоїдний набір хромосом і може розвинути в життєздатний

організм. Цю «зиготу» можна згодом пересадити сурогатній матері та дочекатися народження клону. Саме в такий спосіб було отримано всесвітньо відому клоновану вівцю Доллі. Нині вже здійснено клонування багатьох тварин: від амфібій до макак. Ба більше, розроблено технологію отримання клону з індукованих плюрипотентних стовбурових клітин (детальніше про них ітиметься у § 45) без пересадки ядра. Клонування є перспективною технологією, що дозволяє отримувати нових особин видів, що вимирають, а також розмножувати тварин із унікальними здібностями (наприклад, собак-нюхачів).

Чому всі бояться ГМО?

Від моменту створення ГМО в 1980-х роках навколо їх безпеки точиться суспільна й наукова дискусія. І якщо наразі наукове обговорення є близьким до завершення з майже однотайним висновком про безпечність ГМО, які пройшли ретельну перевірку, то публічне обговорення продовжується.

Нещодавно здійснені дослідження свідчать, що неправдива інформація поширюється приблизно у 100 разів краще, ніж істинна. Це зумовлено тим, що брехню легше зробити веселою, страшною, такою, що викликає подив чи суперечить усталеним поглядам. Завдяки цьому «wow-ефекту» різні вигадки, фейки та фальсифікації швидко «оселяються» у свідомості пересічних людей, тоді як правдива інформація часто має вигляд сухої, сірої й банальної. Тому ЗМІ й соціальні мережі набагато частіше популяризують інформацію про ті поодинокі дослідження, що вказали на негативний вплив ГМО.

Найбільша дискусія точиться навколо проблеми безпеки харчових продуктів, виготовлених із ГМО. У 1998 році британський біолог Арпад Пустай спочатку виступив на телебаченні й заявив щодо нібито негативного впливу їжі з генетично модифікованої картоплі на ріст і роботу імунної системи, та за півтора року опублікував статтю, в якій йшлося лише про погіршення стану епітелію кишківника щурів. Його роботу було розкритиковано, оскільки картопля не є повноцінним продуктом харчового раціону щурів. Інший приклад — це висловлювання російської біологині Ірини Єрмакової. Згідно з її даними, щури, що харчувалися генетично модифікованою соєю, частіше хворіли й були менш плодovitими. Численні експерти й експертки віднайшли помилки в методиках експериментів і, зрештою, її результати не вдалось відтворити в інших лабораторіях. Не менш відомим прикладом є діяльність француза Жака-Ернеста Сераліні, який опублікував кілька статей щодо несприятливої дії їжі з генетично модифікованої кукурудзи на мишей і щурів. Унаслідок обґрунтованої критики як методик і умов дослідження, так і способів обробки даних усі статті згодом відкликали редакції журналів. Аналіз інших робіт щодо негативного впливу ГМО також спростував їх висновки.

Імовірно, страх перед невідомим, нерозуміння способів створення ГМО, природниче невігластво, уміле використання «wow-ефекту» спраглими до «сенсацій» журналістами й журналістками не лише переконує людей у небезпеці ГМО, але й спричиняє заборону владою багатьох країн (й України теж) вирощування ГМО й виробництва продуктів із них. Це знижує конкурентоспроможність аграріїв цих країн, прибутки бюджету й сповільнює рух до сталого розвитку.



Елементарно про життя

- 1. Усі генетично модифіковані рослини
А використовуються як харчові продукти **Б** нездатні до життя в дикій природі
В містять змінені послідовності ДНК у геномі **Г** містять гени тварин
- 2. Для доставки ДНК до клітин тварин у лабораторних умовах використовують
А бактеріофаги **Б** агробактерії **В** віруси **Г** спори бактерій
- 3. Молоко генетично модифікованої худоби може бути джерелом людських
А хромосом **Б** тканин **В** клітин **Г** імуноглобулінів
- 4. Заповніть пропуски в реченні про гібридоми.
Клітина гібридоми може нескінченно (1) і синтезувати під час свого існування (2).
А 1 – рости, 2 – інтерферон **Б** 1 – ділитися, 2 – антитіла
В 1 – рости, 2 – чужорідні білки **Г** 1 – ділитися, 2 – вітаміни
- 5. Оберіть правильне твердження про клонування.
А є основним способом розмноження ссавців
Б призводить до отримання генетично ідентичних організмів
В здійснюють із використанням ферментів-рестриктаз
Г неможливо здійснити для рослин
- 6. Розгляньте *рисунок 42.2* і вкажіть правильний порядок процедур під час створення штаму кишкової палички, що синтезує людський гормон росту.
А вирізання гена гормону росту з людської ДНК
Б трансформація бактерії рекомбінантною плазмідною
В вбудовування гена гормону росту до плазміди
Г вирощування бактерій, що містять рекомбінантну плазміду

У житті все просто

- 7. Чому отримання інсуліну з бактеріальної культури виявляється дешевше, ніж безпосередньо з підшлункової залози великої рогатої худоби? Чому бактеріальний інсулін також дешевший за хімічно синтезований?
- 8. Чому технології генетичної модифікації мікроорганізмів, рослин і тварин відрізняються?
- 9. З якою метою можна використати генетично модифікованих тварин? Чи відрізняється вона від такої для генетичної модифікації рослин?

У житті не все просто

- 10. Складіть мапу думок продуктів (харчів, ліків, біодобавок тощо), які отримують завдяки ГМО. У яких сферах ГМО застосовується найширше?
- 11. Чи є клон тварини повною генетичною копією організму-донора ядра? Як це можна пояснити?
- 12. Схарактеризуйте перспективи використання клонування тварин.

§ 43. Генна інженерія людини

Генетична модифікація може використовуватися для лікування вроджених захворювань людини

Із часу свого зародження медицина здійснила значний прорив у лікуванні захворювань. Люди більше не вмирають від застуди, а апендицит, який у Середньовіччі призводив до 100 % летального наслідку, тепер може бути прооперований у будь-якій районній лікарні. Проте досі існують захворювання, вилікувати які медицина не здатна. Насамперед це генетичні хвороби, зумовлені вродженими порушеннями ДНК. Для деяких із них можлива терапія, спрямована на усунення або полегшення симптомів. Так, наприклад, при фенілкетонурії в організмі порушується процес метаболізму амінокислоти фенілаланіну. Це спричиняє накопичення в тканинах токсичних проміжних продуктів її розкладу, які негативно впливають на роботу головного мозку, спричиняючи розвиток ідіотії. Полегшити перебіг захворювання й усунути його симптоми дозволяє дієта з пониженим умістом фенілаланіну. Але звичайна медицина не здатна лікувати першоджерело захворювань — власне генетичні дефекти. Надії на їх лікування покладають на нову галузь медицини, спрямовану на виправлення генетичних дефектів на рівні молекул ДНК — **генну (генетичну) терапію**.

Генна терапія може здійснюватися як у організмі, так і поза ним

Існує два основних способи генної терапії: *in vivo* та *ex vivo*¹ (рис. 43.1). У першому випадку лікувальний фрагмент ДНК доставляють безпосередньо до клітин і модифікація відбувається в організмі, у другому ж — клітини виділяють із тіла, модифікують їх геном поза організмом і повертають оновлені назад.

Найчастіше для доставки ДНК до клітин організму людини використовують видозмінені віруси. Такий спосіб доставки зручний тим, що віруси мають еволюційно досконалі механізми проникнення в клітину. При цьому вірус-носії не здатні розмножуватися й спричиняти хвороби в тілі людини.

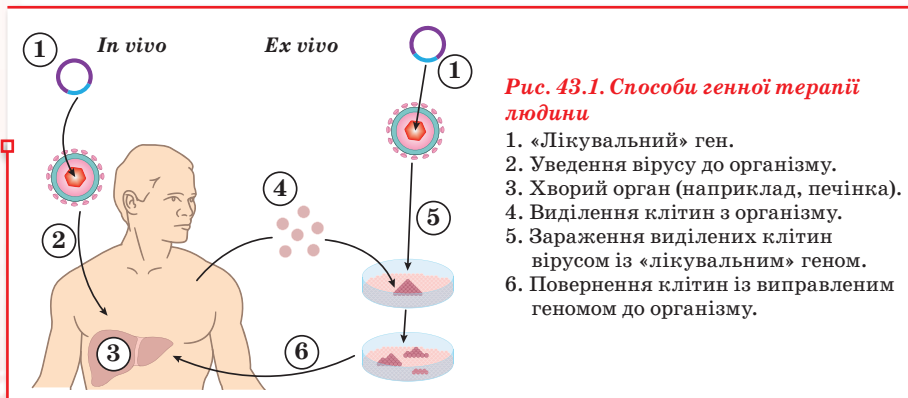


Рис. 43.1. Способи генної терапії людини

1. «Лікувальний» ген.
2. Уведення вірусу до організму.
3. Хворий орган (наприклад, печінка).
4. Виділення клітин з організму.
5. Зараження виділених клітин вірусом із «лікувальним» геном.
6. Повернення клітин із виправленим геномом до організму.

¹ З лат. *in vivo* — у живому та *ex vivo* — поза живим.

Але в такій доставці є й ряд недоліків. Наприклад, вбудовування «лікувальної» ДНК може відбутися не там, де планувалося. Тоді функція якогось важливого гена може бути пошкоджена. Так, на жаль, сталося під час випробувань генної терапії складного комбінованого імунodefіциту — у частини пацієнтів вірус спричинив появу лейкемії. Згодом цей недолік терапії було виправлено. Якщо ж використовувати віруси, що не вбудовують свою ДНК до геному клітини, то терапію час від часу доведеться повторювати, оскільки «лікувальні» фрагменти ДНК із часом втрачатимуться.

Окрім вірусів, для доставки ДНК до клітин *in vivo* використовують ліпідні пухирці (ліпосоми), полімерні комплекси, неорганічні наночастинки (золото, Fe_3O_4 , SiO_2), спеціальні пептиди чи їхнє поєднання. Такі способи переносу поступаються ефективністю вірусам, але майже не збурюють імунну систему й лише зрідка можуть стати причиною алергій.

Розробляються й упроваджуються способи генної терапії на рівні окремих клітин і тканин

На сьогодні досягнуто значного успіху в генетичній модифікації окремих типів клітин. Так, у більшості широконосих мавп зір дихроматичний — у колбочках наявні два види світлочутливого білка йодопсину, унаслідок чого вони не можуть відрізнити червоний від зеленого (у випадку з людиною такий стан називають дальтонізмом). За допомогою мікроін'єкції вірусу вдалося ввести ген третього виду світлочутливого білка до колбочок сітківки ока мавп (рис. 43.2). Тести показали, що мавпи, які пройшли процедуру генетичної модифікації, набули здатності ві-

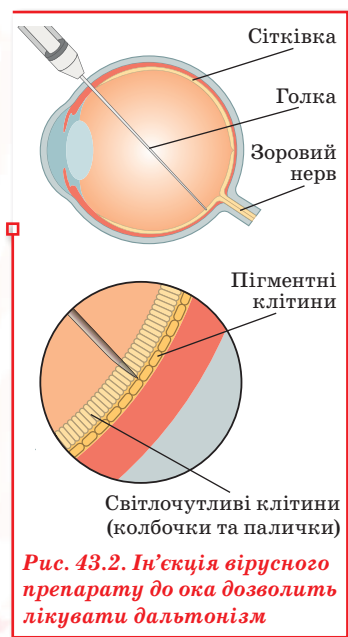


Рис. 43.2. Ін'єкція вірусного препарату до ока дозволить лікувати дальтонізм

дрізнити червоний від зеленого, тобто отримали зір, подібний на людський. Дослідницька спільнота сподівається, що подібна технологія дозволить лікувати дальтонізм у людини. До речі, у такий же спосіб у людей уже було виліковано деякі спадкові захворювання сітківки.

У численних клінічних випробуваннях вдалося провести успішні модифікації клітин кісткового мозку, що дозволяє лікувати таласемію (відсутність або зменшення кількості β -ланцюгів гемоглобіну) та серпуватоклітинну анемію.

У 2012 році Європейська медична агенція та Європейська комісія вперше дозволили продаж геннотерапевтичного препарату на території Європи. На жаль, ціна курсу лікування в 1 млн доларів США зробила цей препарат найдорожчим за всю історію медицини. Із 2016 року в Європі продається другий препарат, який безпечно лікує важкий комбінований імунodefіцит.

Інший відомий приклад використання генетичної інженерії людини — гена модифікація клітин імунної системи для боротьби з раковими захворюваннями (рис. 43.3). Для її здійснення лімфоцити відбирають із крові пацієнта. Далі в лабораторних умовах *ex vivo* редагують їх геном із метою «навчити» розпізнавати ракові клітини. Далі «перепрограмовані» лімфоцити повертають назад до організму, де вони борються з клітинами пухлини. Нині вже відомі випадки успішного використання подібної терапії для лікування лімфоми та лейкомі¹: більше половини пацієнтів повністю виліковувалися від раку.

Існує й інший шлях генотерапії онкологічних захворювань, коли до організму вводять віруси, що заражають винятково ракові клітини і вбудовують до їх геному гени, що спричиняють загибель клітин пухлин.

Крім лікування спадкових хвороб і раку, ще одним напрямком генної терапії є боротьба з інфекціями. Так, під час досліджень вдалося створити лімфоцити, не чутливі до зараження ВІЛ або такі, що продукують антитіла до цього вірусу. Це дозволило вилікувати людей від інфекції.

Можлива також генна терапія не лише окремих клітин, але й цілих тканин. У 2017 році було виліковано хлопчика з бульозним епідермолізом — спадковим захворюванням шкірних покривів, під час якого на шкірі виникають пухирі та виразки. У пацієнта були виділені клітини епідермісу, після чого була проведена їхня генетична трансформація *ex vivo*. Далі штучно вирощені ділянки шкіри були знову трансплантовані пацієнтові. Унаслідок через деякий час спостерігалось повне відновлення шкірних покривів.

Останнім часом найбільші перспективи генної терапії людини покладають на систему бактеріального противірусного імунітету CRISPR/Cas9 (рис. 43.4). Завдяки їй можна внести зміни у визначене місце геному шляхом пошкодження ДНК чи вбудовування туди терапевтичного фрагмента.

¹ Лімфома — вид онкологічних хвороб, що проявляється накопиченням ракових клітин у лімфатичних вузлах; лейкомія — інший вид ракових захворювань, під час якого відбувається злякисне переродження клітин кровотворної тканини.

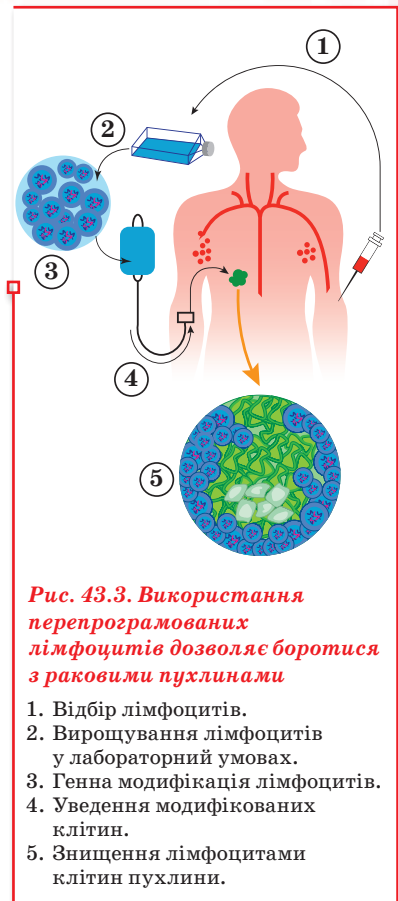
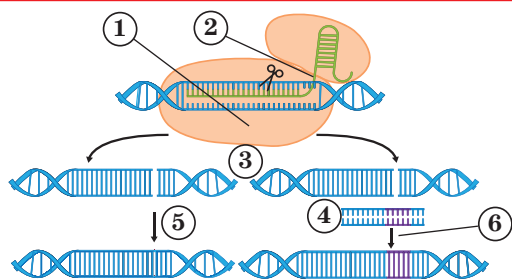


Рис. 43.3. Використання перепрограмованих лімфоцитів дозволяє боротися з раковими пухлинами

1. Відбір лімфоцитів.
2. Вирощування лімфоцитів у лабораторній умові.
3. Генна модифікація лімфоцитів.
4. Уведення модифікованих клітин.
5. Знищення лімфоцитами клітин пухлини.



1. Cas9.
2. Спрямовувальна РНК.
3. Розривання ДНК.
4. ДНК-приклад.
5. Втрата фрагменту ДНК.
6. Вбудовування фрагменту ДНК.

Рис. 43.4. Схема генної модифікації заснована на системі CRISPR/Cas9

Спрямовувальна РНК визначає, який фрагмент ДНК буде змінено, комплементарно зв'язуючись з одним із ланцюгів ДНК. Надалі ДНК може бути пошкоджена (ліворуч) або в неї може бути вбудовано лікувальний ген із уведеного додатково ДНК-прикладу (праворуч).

Можливості генної інженерії людини породжують етичні проблеми

Значно ширші перспективи, як і численні етичні питання, відкриває генетичне редагування ембріонів людини. У цьому випадку модифікація може здійснюватися безпосередньо на стадії яйцеклітини або зиготи, а значить зміни будуть успадковані всіма клітинами організму. Маючи навички маніпулювання геномом людини, людство могло б не лише лікувати генетичні захворювання, але й створювати людей із наперед заданими ознаками: розумніших, сильніших, витриваліших. Сукупність підходів і методів, спрямованих на покращення людської природи, називають **евгенікою**. Злочинне використання в нацистській Німеччині евгенічної філософії, як обґрунтування расизму, стало причиною масового винищення євреїв, циган, слов'ян та інших народів як «нижчих рас». Варто розуміти, що неможливо достовірно стверджувати, що людина менш розвинена за однією ознакою, не досягне успіху в іншій сфері й не змінить життя людей на краще. І доки наука не знає точних механізмів генетичного визначення, якщо такі й існують, позитивних рис (розумність, фізична сила, винахідливість) і негативних рис (схильність до алкоголізму, злочинної поведінки), то здійснити покращення «людської природи» неможливо.

Під час розгляду питань генної терапії ембріонів виникають й інші етичні проблеми. Хто буде нести відповідальність за визначення долі людини, яка ще не народилася? Кого звинувачувати, якщо генетична модифікація не викличе очікуваного ефекту або ж, навпаки, спричинить негативні наслідки для життя й здоров'я? Чи маємо ми право розпоряджатися життям людини на свій розсуд до її народження? Ці та інші питання не раз порушувалися письменниками-фантастами: досить згадати роман Роберта Хайнлайна «Діти Мафусаїла», кінофільми «Гаттака» і «Той, хто біжить по лезу». Тому в більшості країн втручання до геному ембріонів суворо заборонене¹. Ба більше, заборонено

¹ У листопаді 2018 року китайський дослідник Хе Цзянькуй зробив заяву щодо успішного здійснення редагування геному ембріонів двох новонароджених дівчаток із метою вироблення в них нечутливості до ВІЛ. Увесь світ засудив його роботу.

й будь-яке втручання у спадковий матеріал, що немає на меті лікування чи попередження хвороби!

Існують й інші проблеми генної терапії людини. Так, лікування спадкових хвороб збільшує природний приріст населення Землі, що пришвидшує виснаження обмежених ресурсів нашої планети. Також клітини спадкової лінії (попередники гамет і самі гамети) геннотерапевтично вилікуваної людини продовжують нести алелі спадкових порушень (бо втручання до спадкової лінії людини суворо заборонено!), що будуть передані нащадкам. Тобто лікуючи генні хвороби, людство накопичує їхній «генетичний вантаж», що згодом буде ширитися людськими популяціями через краще виживання вилікуваних носіїв. І як це вплине згодом на людство, до кінця не зрозуміло.

Однак нам варто пам'ятати, що генетична модифікація людини — неминуча реальність, із якою вам, читачі та читачки, доведеться зіштовхнутися в майбутньому, тому відповіді на ці питання потрібно шукати вже зараз.

У деяких країнах дозволено клонування людини з метою отримання стовбурових клітин для трансплантації

На сьогодні існують розвинені технології, що дозволяють успішно здійснити клонування людини. Під час **репродуктивного клонування** здійснюється повноцінне створення генетично еквівалентних людей. Подібний сценарій не раз згадувався у фантастиці: генетично ідентичні клони використовувалися для потреб армії, промислових робіт, заселення нових планет. І хоча такі експерименти заборонені законодавчо, наука має всі можливості для їхньої реалізації. Якщо говорити про репродуктивне клонування, то варто розуміти, що створення клону не означає створення копії людини. Річ у тім, що інтелектуальні, психологічні, соціальні характеристики й навіть здоров'я залежать не стільки від генів, скільки від способу життя. Тому перспективність ідеї клонування геніїв доволі сумнівна. Також таке клонування породжує численні психологічні, юридичні й соціальні проблеми: як це бути чийось клоном, хто тепер є біологічними батьками, який правовий статус клону тощо.

Інша, актуальніша, задача — **терапевтичне клонування**, що дозволене в деяких країнах (Велика Британія, США). Воно має на меті отримання ембріонів, які слугуватимуть джерелом ембріональних стовбурових клітин. Останні здатні спеціалізуватися в будь-який тип клітин дорослого організму, тому їх використовують для вирощування органів і тканин, потрібних для трансплантації. Важливість такого клонування полягає в тому, що ембріон-клон буде генетично ідентичним людині, якій потрібна трансплантація, що дозволить уникнути імунного відторгнення тканин, яке є великою проблемою сучасної трансплантології. Однак законодавство вимагає, щоб терапевтичний клон був знищений через два тижні. Це породжує принципові етичні питання: чи можна розцінювати таке знищення як акт убивства? Чи вартує трансплантація частини тіла однієї людини, загибелі ембріона? Дискусія щодо цих питань наразі триває.

Елементарно про життя

- 1. Генетична модифікація клітин людини
 - A** призводить до змін у ДНК усіх клітин організму
 - B** проводиться лише всередині організму
 - V** застосовується для терапії всіх генетичних захворювань
 - Г** здійснюється за допомогою вірусів
- 2. Для доставки лікувальної ДНК до клітин людини НЕ використовують
 - A** віруси
 - B** бактерій
 - V** наночастинки
 - Г** полімерні матеріали
- 3. Генна терапія раку за допомогою модифікованих лімфоцитів здійснюється
 - A** зміною геному ембріона
 - B** *in vivo*
 - V** завдяки стовбуровим клітинам
 - Г** *ex vivo*
- 4. Укажіть процес, що законодавчо заборонений у більшості країн світу.
 - A** клонування ссавців
 - B** симптоматичне лікування фенілкетонурії
 - V** генна модифікація гамет
 - Г** генна терапія ВІЛ-інфекції
- 5. У відповідніть проблеми, що виникають під час генної терапії, і причини їх появи.
 - 1** виникнення алергії
 - 2** розвиток пухлин
 - 3** втрата лікувальних фрагментів ДНК із часом
 - 4** низька ефективність генної модифікації клітин
 - A** уведення лікувальної ДНК за допомогою чужорідних молекул
 - B** руйнування вірусів імунною системою
 - V** неправильне вбудовування фрагментів ДНК у геном
 - Г** відсутність вбудовування лікувальної ДНК у геном

У житті все просто

- 6. Які генетичні хвороби людини вже можна лікувати шляхом генної терапії? Від чого залежить можливість генотерапії того чи того порушення?
- 7. Розробіть класифікацію етичних і екологічних питань, що виникають через використання генної терапії. Які з них варто вирішити найближчим часом, а які можна й згодом?
- 8. Із якою метою може здійснюватися клонування людини?

У житті не все просто

- 9. Розробіть алгоритм генної терапії гемофілії. Для цього опишіть послідовність етапів і генетичних операцій, необхідних для лікування цього спадкового захворювання.
- 10. Як для генної терапії можна використати магнітне поле чи ультразвук?

Проект для дружньої компанії

- 11. Підготуйтеся і проведіть дебати між двома командами на тему «Чи варто дозволяти генетичне редагування геному ембріонів людини?». Нехай одна команда підтримує дозвіл, а інша — ні. Обговоріть проблему з огляду на біологічні, економічні, соціальні й юридичні аспекти.

§ 44. Сучасна біотехнологія

Для отримання потрібних результатів у біотехнології використовують елементи живої природи

Термін «біотехнологія» вперше було вжито в 1917 році інженером Карлом Ерекі для описання процесу великомасштабного вирощування свиней із використанням як корму цукрового буряка. Ерекі визначив **біотехнологію** як усі види робіт, під час яких із сировинних матеріалів за допомогою живих організмів виробляють продукти. Вочевидь, що під таке визначення потрапляло величезне різноманіття технологічних процесів, які вже існували на той час: виноробство й пивоваріння, виробництво силосу¹ й оцту тощо.

Але успіхи біологічної науки у ХХ ст. дозволили значно розширити межі застосування живих організмів у виробництві. Тому зараз біотехнологію визначають ширше — як будь-яке технологічне використання біологічних систем, живих організмів або їхніх похідних для виробництва та зміни продуктів і процесів із заздалегідь визначеною метою. Тобто будь-яка дія, під час якої свідомо використовують компоненти живої природи, буде біотехнологічною: чи то вирощування картоплі, чи то генна терапія людини.

Нині біотехнологія перетворилася на самостійну галузь біології. У багатьох університетах усього світу біотехнологію викладають як окрему дисципліну. Проте варто пам'ятати, що вона є сукупністю методів і підходів, а не цілісною наукою, оскільки не створює нові фундаментальні теорії, що покликані пояснити природні явища. Завданням біотехнології є використання знання про функціонування живих організмів для отримання необхідних продуктів або зміни природних процесів.

Фундаментом біотехнології є різні біологічні науки

Біотехнологія заснована на успіху різноманітних біологічних дисциплін і тісно переплетена з ними. Вона широко використовує досягнення фундаментальних біологічних наук. Здобутки молекулярної біології слугують основою для створення генетично модифікованих організмів. Біосинтез нових ліків, промислове застосування ферментів ґрунтується на даних біохімії, а клітинна біологія необхідна для розвитку технологій трансплантації тканин і органів та репродуктивних технологій. Фізіологія людини використовується в медичній біотехнології, мікробіологія — під час роботи з мікроорганізмами, а ботаніка й зоологія — із макроорганізмами. Крім того, знання багатьох технічних наук і дисциплін знайшли своє застосування під час створення виробничих процесів і установок. Знання хімії важливі у фармацевтичній та інших галузях хімічної промисловості, де використовується біотехнологія, а багато аспектів медицини стали фундаментом розвитку медичної та харчової біотехнології.

¹ Силос (від ісп. *silos* — підземне зерносховище) — соковитий корм для сільськогосподарських тварин, який отримують шляхом заквашування зелених частин рослин і коренеплодів.

Біотехнологія є сукупністю галузей

Біотехнологія в сучасному вигляді складається з багатьох незалежних галузей, що виокремлені залежно від сфери діяльності й мети використання живих організмів (рис. 44.1). Варто відразу зазначити, що такий поділ на галузі є умовним. Так, сільськогосподарська біотехнологія може розглядатися як галузь харчової (чи навпаки), а водна біотехнологія (використання водних організмів) — як частина харчової, якщо вона виробляє продукти харчування, або промислової, якщо виробляє біопаливо.



Рис. 44.1. Основні галузі сучасної біотехнології

Харчова й сільськогосподарська біотехнологія займаються підвищенням урожайності й покращенням властивостей їжі

Харчова біотехнологія — це найдавніша з галузей біотехнології. До неї належить значна кількість традиційних біотехнологічних процесів отримання їжі, що включають використання мікроорганізмів під час виробництва продуктів харчування: випікання хліба, пивоваріння, виноробства, сироваріння.

Сільськогосподарська біотехнологія ж займається покращенням агропромисловості й продуктів, що отримують завдяки їй. Розвиток методів генної модифікації дозволив створювати рослини й тварин, які мають заздалегідь задані властивості: пришвидшений ріст і більшу масу, вищу стійкість до шкідників та інфекцій, знижену алергенність, багатші на вітаміни або менш жирні. Також стало можливим створення фруктів та овочів, які повільніше псуються й довше зберігаються (рис. 44.2). Так, першим дозволеним до вживання генетично модифікованим продуктом були томати *Flavr Savr*, розміщення під час зберігання яких відбувалося повільніше, ніж звичайних. Це зменшувало втрати від невчасного збору врожаю або під час тривалої доставки з поля на полиці магазинів. У § 42 ми вже розглянули значну кількість прикладів генетично модифікованих тварин і рослин, створених для потреб харчової промисловості.



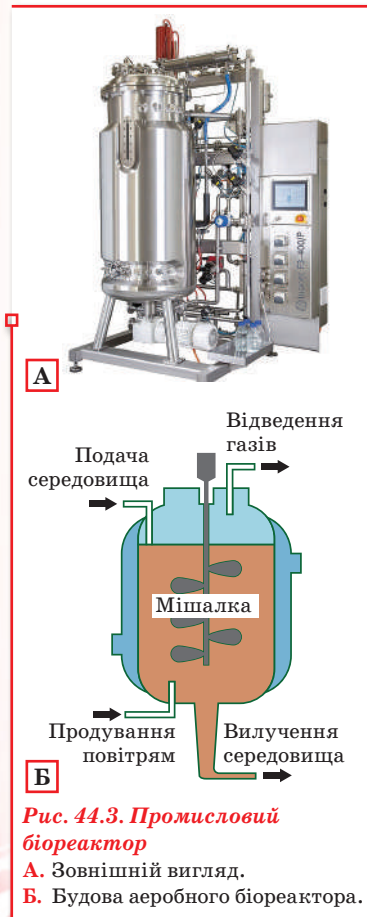
Рис. 44.2. Зовнішній вигляд генетично модифікованого (вгорі) і звичайного (внизу) помідора на 15-ий день зберігання

Використання живих організмів та їхніх компонентів під час отримання палива й матеріалів є основою промислової біотехнології

Під час отримання багатьох біотехнологічних продуктів у промисловості використовують мікроорганізми. Їх неперервне вирощування здійснюється в спеціальних установках — **біореакторах** (рис. 44.3). Ці прилади потрібні для постійного перемішування рідкого середовища і його неперервного оновлення: свіжі порції з поживними речовинами безперервно надходять до біореактора, а «готове» середовище з продуктами метаболізму і власне мікроорганізмами постійно залишає його. При цьому біомаса залишається сталою, бо її відтік із середовищем компенсується швидким розмноженням мікроорганізмів усередині біореактора. Для цього в ньому підтримують оптимальні умови росту культури. У біореакторах виробляють антибіотики, етиловий спирт, лимонну й оцтову кислоти, чужорідні білки (про інші продукти йшлося у § 41 і 42).

Одним із перспективних напрямків промислової біотехнології є виробництво **біогазу**. Біогаз — це суміш метану з іншими газами, яку отримують шляхом анаеробного перероблення органічних відходів метаногенними археями. Він є альтернативою природному газу, запаси якого вичерпуються, і може використовуватися як паливо. Для отримання біогазу органічні відходи поміщають до особливих установок — метантенків — великих чанів із пристроями для збирання газу (рис. 44.4).

Нині біогаз уже використовується в деяких країнах для опалення приміщень, а також як паливо для автомобілів. Данія покриває біогазом п'яту частину своїх енергетичних потреб, у Швейцарії та Норвегії громадський транспорт працює на біогазі. В Індії, Китаї, Непалі та В'єтнамі широко розповсюджені



малі метантенки, що забезпечують енергією одну або декілька селянських родин і працюють на гної та інших відходах (рис. 28.6). Такий спосіб утилізації дозволяє раціональніше використовувати природні ресурси. Понад те, збирання метану дозволяє скоротити його викиди до атмосфери й запобігти розвиткові парникового ефекту (його було схарактеризовано у § 24).

Ще одним напрямом промислової біотехнології є використання білкових каталізаторів — ферментів — для прискорення хімічних перетворень. Властивістю ферментів, яка надає їм перевагу над іншими каталізаторами, є їхня висока специфічність. Ба більше, методом спрямованої еволюції ферментів¹ можна змінювати їхню будову, покращуючи якості каталізатора або надаючи можливості прискорювати перетворення нових субстратів. Ферменти використовують у різних галузях промисловості та науки (табл. 44.1).

Завдяки промисловій біотехнології одержують нові матеріали для легкої промисловості. З найдавніших часів люди використовують тварин і рослини для отримання текстилю. Наприклад, із одомашненого в Китаї тутового шовкопряда й досі отримують шовк. Проте в природі є полімери, що перевершують традиційний шовк за своїми параметрами. Один із них — павучий шовк (із якого павуки плетуть павутиння): легкий матеріал, міцність якого на розрив вища, ніж у сталі та кевлару! Однак шовк, зібраний із павуків, вироцнених на фермах, коштує дорого. Тому зараз компанії, які виготовляють синтетичну версію павучого шовку (рис. 44.5), отримують необхідні білки павутиння в генномодифікованих бактеріях.



Рис. 44.5. Синтетичний павучий шовк і кросівок, виготовлений із нього

Таблиця 44.1. Біотехнологічне використання ферментів

Галузь	Ферменти	Застосування
Харчова промисловість	Целюлази, пектинази	Освітлення соків
	Амілази, протеази	Підготовка солоду для пивоваріння
	Хімосин	Звурджування молока під час виготовлення сиру
Паперова промисловість	Геміцелюлази, лінгін пероксидази	Освітлення паперу
Виробництво мийних засобів	Протеази, ліпази, амілази	Компоненти мийних засобів
Фармацевтична промисловість	Лактатдегідрогенази, альдолази	Синтез лікарських препаратів
Молекулярна біологія	Рестриктази, лігази, полімерази	Генетична (генна) інженерія

¹ У 2018 році біохімкня й інженерка Френсіс Арнольд отримала Нобелівську премію з хімії за розробку цього методу.

Важливою віхою в боротьбі з глобальним засміченням Світового океану пластиком є розробка нових біодеградабельних матеріалів на основі природних полімерів. Наприклад, біопластик виробляють із целюлози й крохмалю. На відміну від звичайного пластика, він легко розкладається мікроорганізмами без утворення токсичних відходів. Упровадження такого біопластика дасть можливість значно зменшити несприятливу дію на навколишнє середовище.

Біотехнології дозволяють зменшувати забруднення й визначати стан довкілля

Біотехнології можуть бути використані людиною, щоб зменшити негативний вплив на довкілля. **Екологічні біотехнології** дозволяють боротися з різними видами забруднень, а також розробляють індикатори для оцінки стану довкілля.

Наразі мікроорганізми повсюдно знаходять практичне застосування в очищенні стічних вод. У всіх розвинених країнах стічні води, що виробляються у великих містах, проходять багатоступеневе очищення перед тим, як дістатися до природних водойм. Це дозволяє не лише вберегти природні екосистеми від забруднення, але й мінімізувати ризик розвитку епідемій або самоотруєння населення. Очищення включає кілька етапів: механічне очищення, хімічне й біологічне. Останній вид очищення полягає в тому, що мікроорганізми, поміщені до спеціальних резервуарів, здійснюють руйнування токсичних речовин і різноманітних забруднювачів до нейтральних сполук: води, вуглекислого газу тощо. Аеробне очищення може здійснюватися на полях фільтрації — спеціальних ділянках ґрунту, населених аеробними бактеріями, які окиснюють забруднювачі. Аналог полів фільтрації — біоставки — неглибокі штучні водойми, у яких схожу функцію виконують водні аеробні бактерії (рис. 25.6). Суттєвим недоліком полів фільтрації й біоставків є неможливість їхнього використання в країнах із суворими зимами.

Перспективним є використання закритих ємностей — біофільтрів і аеротенків (рис. 44.6). У разі використання аеротенка очищення відбувається в насиченій киснем водній фазі, а біофільтра — під час проходження вод кризь зернистий пористий матеріал, населений мікроорганізмами.



Рис. 44.6. Установки з очищення води закритого типу

У тих випадках, коли стічні води багаті на мертву органічну речовину (наприклад, каналізаційні води ферм), важливу роль відіграє анаеробне біологічне очищення. Значна кількість організмів, що зброджують, дозволяє ефективно утилізувати органіку, а наявність метаногенів — ще й отримувати біогаз. Унаслідок цього кількість органіки суттєво зменшується, а вирощені живі організми чи метан можуть бути використані з користю. Тож таке очищення має не лише екологічну доцільність, але й економічну вигоду.

Іншим важливим напрямом біотехнологій є боротьба із забрудненнями безпосередньо в природних біотопах. У § 41 ми вже обговорювали використання мікроорганізмів для боротьби з розливами нафти: завдяки здатності розкладати нафтопродукти бактерії в природній спосіб очищують середовище від них. Крім цього, їх можна застосовувати для боротьби із забрудненнями середовища важкими металами й токсичними відходами хімічного виробництва: під дією мікроорганізмів ці речовини перетворюватимуться на безпечніші чи швидше виводитимуться з ґрунту. Але таке використання бактерій не повинно суттєво впливати на життєдіяльність ґрунтової мікрофлори.

Урешті-решт компоненти живого й цілі організми¹ можуть використовуватися в **біосенсорах** — компактних пристроях, здатних визначати хімічні параметри середовища (рис. 44.7, А). Так, наприклад, за допомогою антитіл або ферментів можна виявляти пестициди або токсини — коли такі речовини взаємодіють із біокомпонентом сенсора, то відбувається зміна електричних або оптичних параметрів, яка й детектується. Ці сенсори часто мініатюрніші, ніж звичайні, та більш чутливі, що сприяло їх використанню для моніторингу за станом навколишнього середовища, контролю за промисловими процесами й навіть у побуті (рис. 44.7, Б, В).

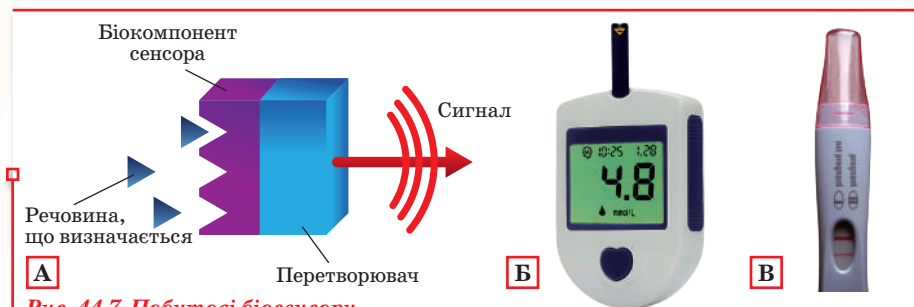


Рис. 44.7. Побутові біосенсори

- А.** Завдяки взаємодії речовини, що визначається з біологічним компонентом сенсора, у ньому відбуваються зміни, що перетворюються в електричний чи оптичний сигнал.
Б. Глюкометр використовує ферментативну реакцію окиснення глюкози у взятій пробі крові для визначення її концентрації.
В. Завдяки зв'язуванню гормону хоріонічного гонадотропіну з антитілами в домашньому тесті на вагітність визначається стан жінки.

¹ Для підтвердження відсутності в повітрі небезпечних метану або чадного газу шахтарі брали з собою в шахту клітку з домашньою канарейкою. За наявності цих газів птахи переставали співати й гинули, що слугувало сигналом до евакуації.

Елементарно про життя

■ 1. Серед наведених тверджень щодо біотехнології та її продуктів оберіть правильне.

А у біотехнології використовують лише білкові речовини живих організмів

Б завдяки застосуванню аеротенків отримують біогаз

В розведення корів для отримання від них молока є прикладом біотехнологій

□ **Г** вироби з біопластика є джерелом забруднення Світового океану

■ 2. Якщо кількість клітин дріжджів, що виводяться з біореактора, буде більшою за ту, що утворюється за цей час у ньому, то з часом у апараті

А лишиться лише поживне середовище

Б усі дріжджі загинуть

В виробництво цільового продукту стане максимальним

Г зросте густина популяції дріжджів

■ 3. Прикладом дослідження в галузі промислової біотехнології може слугувати

А розроблення технології отримання людських гормонів у бактеріях

Б збільшення плідності курей

В підвищення стійкості картоплі до пестицидів

Г створення штамів для очищення ґрунтів від нафтопродуктів

■ 4. Метаногенні археї використовуються людиною

А для лікування вірусних захворювань

Б для отримання антибіотиків

В для очищення води

Г як компоненти біосенсорів

■ 5. Увідповідніть біологічний об'єкт і галузь біотехнології, де він використовується.

1 бактерія *Sedum alfredii*, що поглинає Кадмій

А харчова біотехнологія

2 тутовий шовкопряд

Б промислова біотехнологія

3 аденовірус людини

В медична біотехнологія

4 «золотий» рис, збагачений β-каротином

Г екологічна біотехнологія

У житті все просто

□ ■ 6. Доведіть, що різні галузі й напрями біотехнології використовують знання різних біологічних наук.

■ 7. Схарактеризуйте вплив біотехнологій на довкілля. Чи варто уникати використання якихось біотехнологічних процесів?

У житті не все просто

□ ■ 8. Як використовують морські організми в біотехнології? Чому їхнє застосування може допомогти на шляху до стійкого розвитку?

■ 9. Які біотехнологічні виробництва вже є в Україні? У яких є потреба? Які з них ви б запропонували впровадити першочергово?

§ 45. Медична біотехнологія

Медичні біотехнології забезпечують сучасними методами аналізу

Як уже зазначалося в попередньому параграфі, сучасні біотехнології застосовують у багатьох сферах людської діяльності, зокрема й у медицині. Галузь біотехнологій, що займається розробкою нових методів діагностики та лікування, а також створенням і виробництвом ліків має назву **медична біотехнологія**.

Сучасна медична біотехнологія забезпечила медицину величезним арсеналом потужних і чутливих методів аналізу, що дозволяють виявити в пробі біомаркери захворювань. **Імуноферментний аналіз** заснований на взаємодії молекул у пробі (антигенів) зі штучно отриманими антитілами (рис. 45.1, А). Антигеном може бути білок оболонки бактерії або капсида вірусу, білок-маркер запального процесу або ракової пухлини тощо. До антитіла прикріплено фермент, що каталізує певну реакцію, за продуктами якої можна говорити про наявність антигенів у пробі. Наприклад, за наявності антитіла з ферментом може змінюватися забарвлення, з'являтися світіння. Імуноферментний аналіз часто виконують на спеціальних планшетах, які дозволяють досліджувати водночас значну кількість проб (рис. 45.1, Б). Домашні тести на вагітність (рис. 44.7, Б) використовують цей вид аналізу у своїй роботі.

Метод полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР), як ви вже знаєте, дозволяє багаторазово скопіювати певну ділянку ДНК в пробірці, використовуючи бактеріальні ферменти реплікації. Для того, щоб реплікація почалася, до пробі додають короткі фрагменти одноланцюгової нуклеїнової кислоти — праймери. Якщо в ДНК пробі є ділянки комплементарні праймерам, то реплікація буде відбуватися (рис. 45.2). ПЛР використовують для визначення наявності



Рис. 45.1. Імуноферментний аналіз

А. Принцип прямого імуноферментного аналізу полягає в тому, що зв'язане з антигеном антитіло детектується за сигналом від продукту ферментативної реакції.

Б. Планшет на 96 лунок дозволяє здійснювати одночасний імуноферментний аналіз багатьох проб. Поява специфічного забарвлення (сильного) свідчить про наявність антигена.

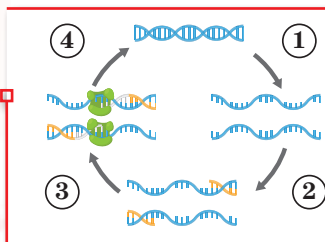


Рис. 45.2. Події, що відбуваються протягом одного циклу ПЛР

Спершу ДНК розплітається під час нагрівання пробі (1). Потім до країв ділянки ДНК, яка цікавить дослідника чи дослідника (2), приєднуються комплементарні праймери (3). Після цього термостійка ДНК-полімераза синтезує ДНК, починаючи з праймерів (3). Наприкінці циклу кількість послідовностей фрагмента подвоюється (4).

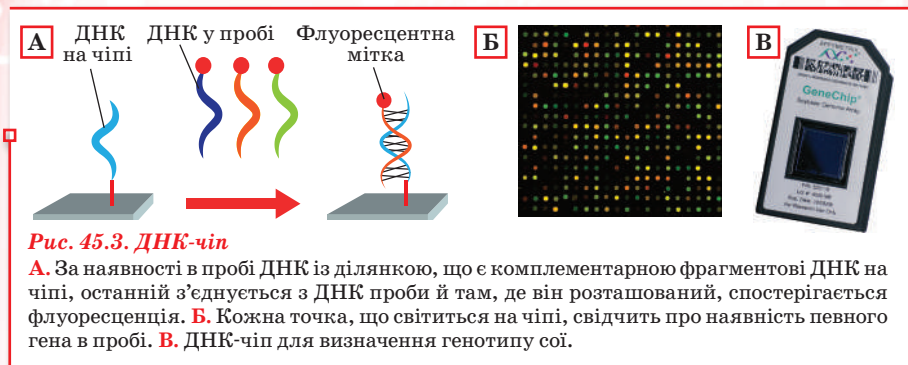


Рис. 45.3. ДНК-чип

А. За наявності в пробі ДНК із ділянкою, що є комплементарною фрагментові ДНК на чіпі, останній з'єднується з ДНК проби й там, де він розташований, спостерігається флуоресценція. **Б.** Кожна точка, що світиться на чіпі, свідчить про наявність певного гена в пробі. **В.** ДНК-чип для визначення генотипу сої.

певної ділянки ДНК, синтезування великої кількості ДНК для подальшого аналізу. Як діагностичний метод ПЛР-аналіз дозволяє знаходити мутації під час пренатальної діагностики, визначати батьківство, виявляти наявність збудників захворювання в пробі.

ДНК-чип — це пристрій, що є основою, на яку нанесені короткі фрагменти ДНК (рис. 45.3). Під час зв'язування цих фрагментів із комплементарними їм ділянками в пробі виникає оптичний сигнал. За допомогою одного чіпа можна виявити наявність декількох тисяч різних фрагментів ДНК, що дозволяє аналізувати відразу цілий геном організму. ДНК-чіпи найчастіше використовують для визначення генотипу організму. Також вони можуть допомогти у створенні індивідуального генетичного паспорта людини, що дозволить виявити генетичні порушення або схильність до певних патологій.

Завдяки розвитку біотехнологій упроваджуються нові лікарські препарати

Сучасна медицина використовує лікарські препарати, що отримують як із природних джерел (тобто біотехнологічні), так і методами хімічного синтезу. Нині глибокі знання людської біохімії та клітинної біології, а також розвиток обчислювальних технологій дозволяє здійснювати комп'ютерний дизайн молекул із заданими фармакологічними властивостями. Проаналізувавши дані щодо структури ферментів і рецепторів, а також сигнальні й метаболічні шляхи, науковці за допомогою спеціального програмного забезпечення створюють формулу лікувальної речовини. У такий спосіб уже розроблено безліч препаратів для терапії різних захворювань, зокрема й раку.

Окремий напрямок медичних біотехнологій — розроблення терапевтичних препаратів на основі РНК. Зв'язування невеликих молекул РНК із матричною РНК за принципом комплементарності спричиняє

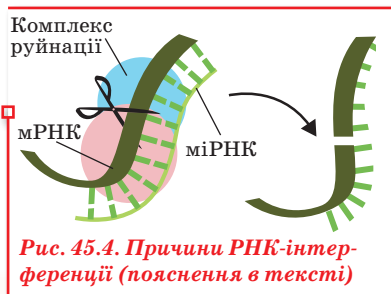


Рис. 45.4. Причини РНК-інтерференції (пояснення в тексті)

руйнування такого комплексу та зупинку біосинтезу білка (рис. 45.4). Тобто завдяки їм здійснюється регуляція роботи генів. Цей процес називають **РНК-інтерференцією**¹, а описані короткі молекули РНК — малими інтерферувальними РНК (міРНК). Препарати на основі інтерферувальних РНК здатні пригнічувати експресію небажаних генів. Позаяк деякі спадкові захворювання (наприклад, хорея Гантінгтона) пов'язані з надлишковим біосинтезом окремих білків, то точкове придушення їхнього біосинтезу матиме лікувальний ефект. Також можна використовувати РНК-інтерференцію для боротьби з вірусними захворюваннями або раком, заблокувавши роботу шкідливих генів.

Щоб ліки були ефективними та не мали побічних ефектів, потрібна їхня адресна доставка

Суттєвою перешкодою на шляху впровадження нових лікарських засобів є складність їхнього доставлення до потрібної клітини. Тому одним із напрямів медичних біотехнологій є розроблення систем адресної доставки ліків до окремих клітин або навіть клітинних структур. Для здійснення цього можна використовувати віруси, що несуть спеціальні білки для розпізнавання й проникнення до клітин (про цей та інші способи доставки генотерапевтичних препаратів ішлося в § 43). Інший підхід полягає у створенні наноліків — штучно синтезованих гранул, які містять лікарські препарати і вкриті молекулами, що забезпечують проникнення частинок до клітин певного типу (рис. 45.5).

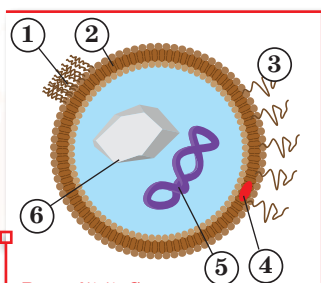


Рис. 45.5. Схема ліпосомної наночастинки для адресної доставки різних типів ліків

1. Поверхні молекули для захисту від знищення імунною системою.
2. Ліпідний бішар.
3. Поверхні молекули для контакту лише з певним типом клітин.
4. Жиророзчинний лікувальний препарат.
5. Лікувальна нуклеїнова кислота.
6. Водорозчинний лікувальний препарат.

Точне доставлення ліків дозволяє підвищити ефективність хіміотерапії раку. Оскільки хіміотерапевтичний препарат є токсичним і для неракових клітин, що активно діляться (клітин шкіри, кісткового мозку, волосяних цибулин), то завдяки адресній доставці він потраплятиме лише до ракових клітин, що дозволить зменшити негативні побічні ефекти такої терапії.

Репродуктивна медицина намагається вирішувати проблеми безпліддя

Однією з важливих галузей сучасної медицини є **репродуктивна медицина**, яка займається проблемами боротьби з безпліддям, а також запобіганням появі можливих генетичних аномалій та аномалій розвитку плода. Під час використання репродуктивних технологій початкові стадії ембріогенезу здійснюються поза організмом матері, у контрольованих умовах.

¹ У 2006 році за відкриття цього явища Ендрю Файр і Крейг Меллоза отримали Нобелівську премію з фізіології або медицини.

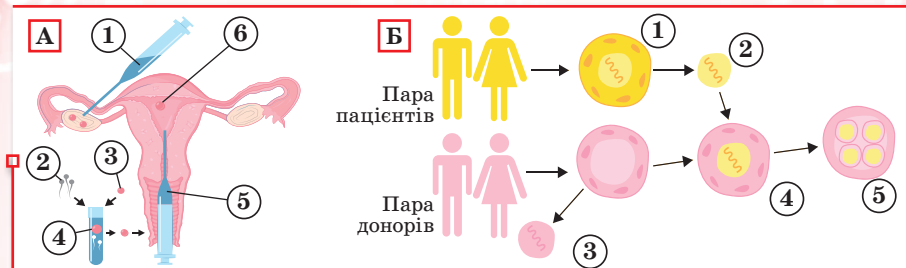


Рис. 45.6. Методи репродуктивної медицини

А. Екстракорпоральне запліднення. 1. Відбирання яйцеклітин. 2. Сперматозоїд. 3. Яйцеклітина. 4. Запліднення *ex vivo*, «у пробірці». 5. Уведення ембріона до матки. 6. Ембріон.
Б. Метод цитоплазматичної заміни. 1. Зигота пари пацієнтів із uszkodженими мітохондріями. 2. Здорове ядро виймають із uszkodженої зиготи. 3. Ядро видаляють зі здорової зиготи. 4. Ядро пацієнтів переносять до зиготи донорів зі здоровими мітохондріями. 5. Ембріон, позбавлений мітохондріальних хвороб.

У випадку **екстракорпорального¹ запліднення (ЕКЗ)** сперматозоїд і яйцеклітини зливаються в пробірці, а не в організмі (рис. 45.6, А). Якщо ж сперматозоїд не може самостійно проникнути до цитоплазми яйцеклітини, то його туди вводять мікрошприцем. Крім того, для ЕКЗ можуть бути використані донорські сперматозоїди та яйцеклітини. Надалі отриманий ембріон певний час вирощують у інкубаторі, а потім пересаджують до матки біологічної або сурогатної матері.

Метод цитоплазматичної заміни дозволяє замінити мітохондрії ембріона (рис. 45.6, Б). Для цього ядро яйцеклітини або зиготи переноситься до цитоплазми клітини зі здоровими мітохондріями. У результаті дитина отримує генетичний матеріал від трьох людей: ядерну ДНК від матері та батька, а мітохондріальну — від жінки-донорки. Перша успішна цитоплазматична заміна була здійснена в Києві у 2017 році.

Використання стовбурових клітин і 3D-принтерів дозволяє отримувати більш безпечні трансплантати

Сучасні медичні біотехнології володіють методами вирощування людських органів і тканин для їхньої подальшої трансплантації. Ця галузь біотехнології отримала назву **тканинної інженерії**. Вирощування органу вирішує одразу дві проблеми **трансплантології** — науки про пересадку тканин і органів. По-перше, зникає необхідність пошуку донора, що підходить. По-друге, завдяки тому, що новий орган створюється на основі клітин пацієнта чи пацієнтки, повністю зникає небезпека імунного конфлікту та подальшого відторгнення трансплантату.

Перспективним рішенням у тканинній інженерії є використання **стовбурових клітин** організму, здатних інтенсивно ділитися й спеціалізуватися (диференціюватися) у різні типи клітин. Одними з найперспективніших є ембріональні стовбурові клітини, отримані від клонованого ембріона (терапевтичне клонування обговорювалося у § 43), та індуковані плюрипотентні стовбурові

¹ Від лат. *extra* — зовні й *corpus* — тіло.

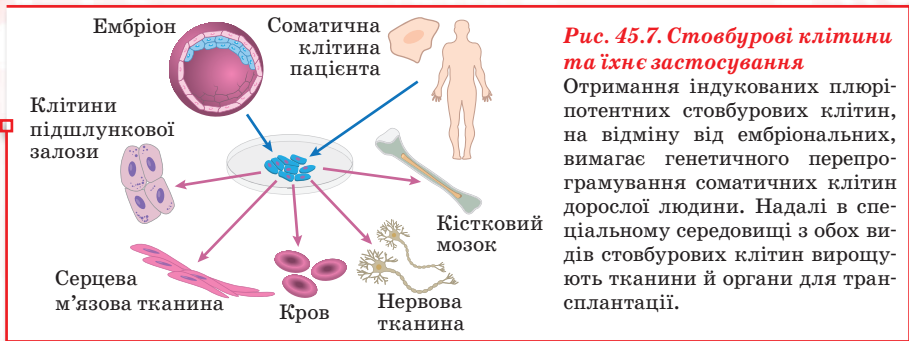


Рис. 45.7. Стовбурові клітини та їхнє застосування

Отримання індукованих плюрипотентних стовбурових клітин, на відміну від ембріональних, вимагає генетичного перепрограмування соматичних клітин дорослої людини. Надалі в спеціальному середовищі з обох видів стовбурових клітин вирощують тканини й органи для трансплантації.

клітини (рис. 45.7). Останні отримують зі звичайних клітин організму, перепрограмувавши їх за допомогою методів генетичної інженерії.

Виростити цілий орган важко, оскільки він складається з різних тканин. Оригінальне рішення полягає в тому, щоб вирощувати різні типи клітин окремо, а потім збирати їх разом у єдиний орган. Це можливо завдяки створенню спеціальних **3D-біопринтерів**. При цьому як «будівельний матеріал» використовуються вирощені клітини, речовини міжклітинного середовища або їхні замінники. На сьогодні за допомогою біопринтингу вже вдається успішно друкувати кровоносні судини (рис. 45.8, А). Проте в майбутньому планується почати друк складніших структур і цілих органів.

Важливо відрізнити біопринтинг від звичайного **медичного 3D-принтингу**. Останній застосовується, наприклад, для друку кісткових і хрящових протезів (рис. 45.8, Б). У ньому використовується лише штучний матеріал, але не живі клітини. У випадку із 3D-друком протезів відновлюються лише фізичні й механічні властивості втрачених структур, а під час біопринтингу — і біологічні тканини.

Однією з найголовніших проблем біопринтингу є друк міжклітинного каркасу, до якого буде прикріплено клітини. Надрукувати його за допомогою біопринтера не вдається — не вистачає точності пристрою. У такому разі зручною альтернативою є заміщення клітин у донорському органі. Для цього орган піддають **децелюляризації** — очищенню від клітин. Унаслідок цього від нього залишається тільки каркас із міжклітинної речовини. Потому каркас заселяють стовбуровими клітинами пацієнта чи пацієнтки, що відновлюють орган. Першу трансплантацію такого типу зробили у 2008 році: пацієнтці була пересаджена донорська трахея, заселена її клітинами. Метод має великі перспективи: на мишах уже проведено успішні дослідження з отримання таким способом функціонального серця.



Рис. 45.8. 3D-принтинг

А. Кровоносні судини, виготовлені завдяки 3D-біопринтингу в гелі.

Б. Протез вухної раковини (праворуч), надрукований на 3D-принтері.

Елементарно про життя

- 1. Визначити наявність у пацієнта раку можна з використанням
A імуноферментного аналізу **Б** ПЦР-аналізу
В стовбурових клітин **Г** ДНК-чіпа
- 2. Для створення наночастинок, здатних адресно доставляти лікарські препарати, до їхньої оболонки вбудовують
A нуклеїнові кислоти, комплементарні клітинним
Б вуглеводи, що надають солодкості препарату під час його застосування
В ліпіди, що активують імунну систему
Г білки, що специфічно зв'язуються з рецепторами клітин
- 3. Під час екстракорпорального запліднення
A народжується клон одного з батьків
Б використовується тільки яйцеклітина
В народжується дитина з донорськими мітохондріями
Г частина ембріогенезу відбувається поза організмом матері
- 4. Використання стовбурових клітин пацієнта чи пацієнтки для вирощування тканин для трансплантації краще, ніж перенесення тканин від донора/донорки, тому що це
A набагато дешевше **Б** не призводить до змін у геномі пацієнта чи пацієнтки
В здійснюється швидше **Г** не ініціює імунної реакції
- 5. Увідповідніть медичну технологію з її потенційним застосуванням.

1 РНК-інтерференція	A блокування розмноження клітин пухлини
2 адресна доставка препарату, що порушує мітоз	Б відновлення обгорілої ділянки шкіри
3 цитоплазматична заміна	В подолання жіночого безпліддя, спричиненого порушенням роботи мітохондрій
4 тканинна інженерія	Г виявлення спадкових порушень
	Д пригнічення надмірного біосинтезу білка в нейронах

У житті все просто

- 6. Чому РНК-інтерференцію можна застосовувати для пригнічення біосинтезу конкретного білка?
- 7. Чим принцип ПЦР-діагностики відрізняється від використання ДНК-чипів? Чи можуть вони застосовуватися для вирішення одних і тих же завдань? А вирішення яких завдань є унікальним для кожного з них?

У житті не все просто

- 8. Чому від моменту створення формули препарату до його застосування проходить кілька років? Чи завжди винайдена речовина стає ліками?
- 9. Визначте послідовність операцій, потрібних для створення якогось органу людини на 3D-біопринтері. Які органи вирощувати простіше, які — важче? Чи можна виростити людський мозок?

§ 46. Біологічна безпека

Біологічно небезпечні агенти відрізняються своїм впливом на здоров'я й здатністю до поширення

Численні живі організми та продукти їхньої життєдіяльності негативно діють на здоров'я людини, сільськогосподарських тварин і рослин, а також стан природних біологічних об'єктів — спричиняють хвороби, порушення життєдіяльності та навіть смерть. Такий вплив називають **біологічною небезпекою** (рис. 46.1), а компоненти живої природи, що його здійснюють, **біологічно небезпечними агентами**. У цьому параграфі ми зосередимось на небезпеці для людини й суспільства, а питання негативного впливу організмів на довкілля були об'єктом розгляду в § 23 і § 27.



Рис. 46.1. Знак біологічної небезпеки

Найпоширенішими біологічно небезпечними агентами для людини є пріони, віруси, бактерії й інші паразити, що здатні спричинити хвороби, та утворені ними токсини, алергени й отрути. Згідно з класифікацією ВООЗ усі небезпечні біологічні організми, із якими працюють у лабораторних умовах, поділяють на чотири групи ризику залежно від патогенності й здатності поширюватися (табл. 46.1). При цьому передаватися від людини до людини ці біологічні агенти можуть різними шляхами (про шляхи поширення інфекційних захворювань ішлося в § 38). Не меншу небезпеку становлять середовища, обладнання й посуд, які використовувалися для роботи з такими агентами, а також вода й повітря, до яких вони могли потрапити. Ці об'єкти підлягають спеціальним очищенням й дезінфекції.

Таблиця 46.1. Класифікація патогенних організмів

Група ризику	Патогенність ¹	Поширення	Наявність лікування	Приклад
I	Не є збудниками хвороб	Не передається від людини до людини	Не потрібне	Вірус чумки собак, сінна паличка, пекарські дріжджі
II	Збудники не дуже серйозних хвороб	Поширення інфекції обмежене чи легко контролюється	Існує ефективне лікування	Вірус свинки, бактерія-збудник гонореї, грибок кандиди
III	Збудники серйозних хвороб	Існують заходи обмеження поширення	Існує ефективне лікування	Вірус гепатиту В, малярійний плазмодій, свинячий ціп'як
IV	Збудники хвороб із високою смертністю	Обмежити поширення складно	Не існує ефективного лікування	Вірус натуральної віспи, вірус Еболи

¹ Від грец. *pathos* — страждання і *genes* — той, що породжує: здатність спричинити хворобу.

Основними джерелами біологічної небезпеки для людини є поширення природних епідемій, не дотримання правил біобезпеки (*див. нижче*), аварії чи диверсії на біологічно небезпечних об'єктах, використання біологічної зброї та біотероризм. Крім того, у багатьох галузях людської діяльності робітники часто зустрічаються з біологічно небезпечними агентами: крім природодослідницького й медичного кіл, це працівники й працівниці сільського, лісового, сміттєзбирального господарства, харчової промисловості та навіть співробітники й співробітниці музеїв, архівів і бібліотек.

Використання біологічної зброї заборонене, але вона все одно може бути застосована

Біобезпечні агенти можуть бути основною **біологічною зброєю** — спеціальних боеприпасів, що містять організми чи токсини, й здатні уражати людей, свійських тварин і сільськогосподарські рослини. Першим більш-менш достовірним фактом використання біологічних агентів у воєнних цілях є закидання катапультами чумних трупів ханом Золотої Орди Джанібеком до осадженої фортеці Каффа (нині місто Феодосія в Криму) у 1346 році. Хоча фортецю тоді захопити не вдалося (армія хана була знекровлена чумою), але хвороба поширилась Європою із генуезькими кораблями, які тікали з атакованого міста. Тоді «чорна смерть» забрала життя близько 60 млн осіб у світі. Іншим підступним прикладом використання біологічної зброї була роздача у 1763 році європейськими завойовниками американським індіанцям і індіанкам ковдр, заражених натуральною віспою: мільйони корінних мешканців загинули згодом від інфекції.

Як біологічна зброя потенційне використання мають організми, що легко поширюються від людини до людини (найчастіше через повітря) і спричиняють хвороби із високим рівнем смертності. Найбільш імовірне застосування збудників чуми, сибірської виразки (сибірки), висипного тифу, геморагічних лихоманок (віруси Марбург і Ебола), натуральної віспи¹. Небезпека використання такої зброї полягає в тому, що важко спрогнозувати масштаби зараження: чи буде це лише локальна дія, як це планувалося агресором, чи зараження переросте в глобальну пандемію². Тому ще в 1925 році в Женеві було підписано протокол про заборону використання хімічної та біологічної зброї на війні. Але навіть після цього відомі факти застосування біозброї в Другій світовій і Корейській війнах. Із 1975 року у світі діє Конвенція про заборону розробки й накопичення біологічної зброї, але відсутність дієвих механізмів перевірки не дозволяє однозначно стверджувати, що вона виконується усіма країнами-учасницями. З огляду на це в багатьох арміях світу є спеціальні війська біологічного захисту — в армії України цей рід військ має назву «війська радіаційного, хімічного та біологічного захисту» (*рис. 4б.2*).

¹ Оскільки з 1980-х років вірус натуральної віспи більше не циркулює в людських популяціях, то й вакцинація проти нього більше не здійснюється.

² Пандемія — епідемія, що поширилась на території кількох країн чи навіть континентів.



Рис. 46.2. Солдат військ радіаційного, хімічного та біологічного захисту в костюмі хімічного захисту

торів надійшли листи, у яких містилися спори бактерії сибірської виразки (рис. 46.3). Унаслідок цієї атаки загинув один журналіст, двоє працівників пошти та ще двоє людей і було нанесено збитків на 1 млрд доларів США (здебільшого гроші пішли на дезінфекцію приміщень).

Іншим способом біотероризму є диверсії в лабораторіях, що працюють зі збудниками смертельних хвороб: потрапляння досліджуваних біооб'єктів до довкілля може стати початком масштабної епідемії. Тому такі лабораторії завжди ретельно охороняються.

Ще одним можливим напрямом біотероризму є аграрний, коли біологічні агенти використовуються для нанесення шкоди й знищення продовольчих, сільськогосподарських чи природних ресурсів країни. Для цього можуть використовуватися збудники хвороб сільськогосподарських тварин і рослин, шкідники, небезпечні організми, чиї токсини накопичуються в харчових продуктах. Така дія може спровокувати інфікування людей, спричинити підвищення цін, фінансові збитки, масові заворушення.

ГМО мають створюватися й використовуватися із обережністю

Створення й використання ГМО є ще одним викликом біобезпеці. Річ у тім, що агенти, використані для модифікації ДНК (віруси, агробактерії, плазміди), за неналежного виконання заходів біобезпеки можуть потрапляти до довкілля, де спричинять мутації в при-

Ризик біотероризму є завжди

Не менш небезпечним є використання біологічних агентів у терористичних атаках. Найімовірніші місця їх здійснення — це станції метро, торговельні центри, концертні чи спортивні арени. Такі злочини мають на меті не тільки ураження людей, але й спричинення паніки, нанесення масштабних інфраструктурних і економічних збитків, порушення громадського порядку. Один із найвідоміших випадків біотероризму було зафіксовано в США у вересні 2001 року, коли до офісів деяких ЗМІ та двох сенаторів

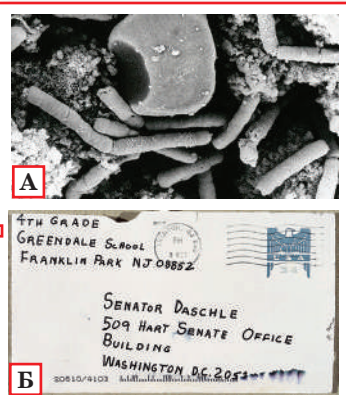


Рис. 46.3. Біотерористична атака листами, зараженими сибіркою

А. Бацilli сибірської виразки під електронним мікроскопом.

Б. Обкладинка конверту зі спорами бактерії, надісланого сенаторові Томасу Дешлу від імені учнівства нью-йоркської школи.

родних організмів. Так, наприклад, бактерії можуть стати ще менш чутливи-ми до антибіотиків. Тому лабораторії, що створюють ГМО, мусять керуватися вимогами й правилами для лабораторій, що працюють зі збудниками небез-печних хвороб.

Численні дослідження останніх десятиліть не підтвердили наявності небезпеки при вживанні продуктів із ГМО в їжу. А оскільки вони проходять додаткову ретельну перевірку перед виходом на ринок, то й їхня безпечність є вищою порівняно з тими, які вироблені з організмів, отриманих завдяки класичній селекції!

Теоретично існує ризик перенесення генів від ГМО до організмів дикої природи. Тоді, наприклад, природні бур'яни могли б набути стійкості до герби-цидів. Час від часу такі випадки фіксувалися, тому розробники й розробниці почали створювати генетично модифіковані сорти, нездатні до схрещувань.

Через свою високу стійкість до шкідників ГМО потенційно можуть ви-тіснити природні організми з екосистем. Також уведені в трансгенні сорти токсини деколи мають негативну дію не лише на природних ворогів, але й, на-приклад, на комах-запилювачів чи птахів, що живляться насінням. Тому, щоб уникнути небажаних наслідків від використання ГМО, потрібно здійснювати тривале й ретельне дослідження їхнього впливу на довкілля, а також контро-лювати поширення в природі. Однак, майже напевне можна стверджувати, що без ГМО не обійтись на шляху до сталого розвитку людства.

Захист від біонебезпек полягає в дотриманні загальних принципів біобезпеки

Із розумінням серйозності біологічних небезпек почала формуватися нова галузь знань, що займається попередженням, зменшенням їхнього впливу й убезпеченням людей від них — **біологічна безпека**. Для її реалізації на під-приємствах і в установах, де працівники й працівниці контактують із небез-печними агентами, впроваджуються заходи **біологічного захисту**. Завдяки ним вдається уникати не лише безпосередньої дії агентів, але й їх розповсюд-ження в довкіллі.

Для захисту людей усіх професій, що під час виконання своїх обов'яз-ків контактують із біологічно небезпечними істотами чи їхніми продуктами, застосовують кілька загальних принципів.

- Процеси, що є біонебезпечними, варто замінити більш безпечними, на-приклад, уникати утворення аерозолей і пилу, оскільки збудники хвороб ча-сто передаються з часточками повітрям.
- Потрібно мінімізувати час контакту із біонебезпечним агентом та кіль-кість працівників і працівниць, що з ним контактують. Для цього треба ор-ганізувати черговість роботи в найбільш небезпечних зонах, упроваджувати чіткі послідовності дій на робочому місці для зменшення часу контакту.
- Варто завжди використовувати засоби індивідуального захисту: спец-одяг, рукавиці, респіраторні маски, захисні окуляри.

- Необхідно підтримувати високий рівень чистоти робочого простору (ефективна вентиляція, регулярне прибирання), інструментів, одягу та тіла працюючих (обладнати душові).
- Треба маркувати й утилізувати відходи відповідно до рівня їхньої небезпечності (рис. 46.4).

Заходи біологічної безпеки ефективно реалізуються в лабораторіях

Найбільшим джерелом біологічної небезпеки (окрім природних осередків епідемії) є науково-дослідні лабораторії. Тому найяскравіше біологічний захист проявляється саме в них. Щоб не заразитися під час роботи з небезпечними організмами, персонал одягає засоби індивідуального захисту (рис. 46.5). Подекуди дослідники й дослідниці після роботи повинні повністю перевдягатися й помитися в душі. Усі речовини й посуд, що контактували з небезпечним агентом, ретельно стерилізуються або знищуються, а обладнання підлягає регулярному очищенню.

За ступенем захищеності лабораторії поділяють на чотири групи: BSL-1 – BSL-4¹. Робота з організмами III і IV груп ризику (див. табл. 46.1) відбувається в лабораторіях із рівнями BSL-3 і BSL-4 відповідно, що мають спеціальне оснащення: двері з автоматичним замиканням, повністю ізольовані костюми з надлишковим тиском, герметичні бокси (рис. 46.6). Усе повітря, рідини і тверді частинки в таких лабораторіях збираються спеціальними системами, фільтруються та дезінфікуються чи знищуються. Крім того, до лабораторій високих рівнів навіть науковці мають обмежений доступ і там організовано воєнізовану охорону для уникнення диверсій і біотероризму.



Рис. 46.4. Спеціальні пакети для різних типів біонебезпечних медичних відходів



Рис. 46.5. Індивідуальні засоби біобезпеки



Рис. 46.6. Обладнання лабораторій високого рівня біозахисту

А. Завдяки надлишковому тиску в середині костюму навіть при виникненні шпарини повітря виходитиме з нього, а не заходитиме, що не дозволить небезпечним агентам потрапити усередину.

Б. Збудники хвороб не можуть потрапити назовні з герметичного боксу.

¹ Акронім від англ. *biosafety level* — рівень біобезпеки.

Безпечне дослідження смертельної небезпеки

Щоб досліджувати смертельно небезпечні інфекції (чи навіть тіла позаземного походження) й розробляти ліки від них, потрібне безпечне місце — лабораторія четвертого рівня біобезпеки (BSL-4). Для того, щоб зайти на її територію, необхідна спеціальна перепустка. Надалі співробітниця чи співробітник доведеться зняти одяг і перевдягнутися в спеціальний захисний костюм.



Цей костюм зроблено з цупкого прорезиненого матеріалу, що повністю ізолює дослідника від довкілля. Навіть проміжки між штанинами й взуттям заклеюють скотчем, якщо воно не є частиною спецкостюма! Повітря для дихання подається до нього за допомогою окремого шланга, що йде від системи вентиляції під стелею лабораторії. Тому ті, хто працює в лабораторії, дещо схожі на незграбних ляльок, якими хтось керує, смикаючи за шнурки, згори. У костюмі тиск є більшим за тиск у приміщенні, тож якщо герметичність одягу буде порушено, то повітря виходитиме з нього, а не заходитиме, що не дасть небезпечним збудникам проникнути до тіла людини. А в лабораторії тиск, навпаки, є меншим за атмосферний, що убезпечує довкілля від потрапляння до нього збудників: у разі порушення герметичності лабораторії гіпотетично заражене повітря не залишатиме її, бо чисте всмоктуватиметься усередину.

Далі дослідниця чи дослідника в герметичному костюмі чекає кімната-шлюз. Після закривання герметичних дверей шлюзу в ньому повністю замінюється повітря, і тиск зрівнюється із внутрішнім (на шляху до лабораторії) чи зовнішнім (на шляху з неї). Але заходять туди завжди з напарником чи напарницею, бо у випадку надзвичайної ситуації хтось завжди має бути поруч. У приміщенні умови подібні до таких, як у звичайній біологічній лабораторії — там стоять герметичні витяжні шафи для роботи з небезпечними організмами, центрифуги, мікроскопи тощо. Але робота відбувається неквапливо й досить повільно, бо рухатися в масивному надутому костюмі зі шлангом, прикріпленім до стелі, ой як не легко!

Вийти з лабораторії ще складніше, ніж увійти до неї. Зайшовши до кімнати-шлюзу, співробітниця чи співробітник потрапляє під дезінфікувальний душ з усіх боків — усе для того, щоб змити й знищити небезпечних збудників! І лише потім вони мають змогу перейти до роздягальні, де треба залишити увесь одяг. Після звичайного душу вже в сусідній кімнаті можна, нарешті, одягнути свій звичайний одяг і повернутися до щоденного наукового побуту. Щоб працювати в такій лабораторії дослідникам і дослідницям треба бути не тільки розумними, але й обережними, прискіпливими до дрібниць, відповідальними й надзвичайно мужніми!


Елементарно про життя

- 1. Який із наведених об'єктів НЕ може становити біологічної небезпеки?
А генетично модифікована картопля **Б** отруйний для бур'янів пестицид
В штам бактерії збудника висипного тифу **Г** ботуліністичний токсин
- 2. За рахунок агротероризму злочинці намагаються
А знищити збудника певної хвороби на всій території країни
Б інфікувати якомога більше людей
В спричинити порушення громадського порядку
Г визначити рівень навченості правоохоронних структур
- 3. Укажіть правильну реалізацію біологічного захисту на сміттесортувальному заводі.
А максимальна автоматизація процесів
Б збільшення кількості працівників для підвищення ефективності
В робота зі сміттям лише в герметично замкненому просторі
Г обов'язкове миття працівників перед входом до цеху
- 4. Усі тверді відходи з лабораторії високого рівня безпеки
А викидаються зі стічними водами **Б** закопуються в ґрунт
В вивозяться разом із побутовим сміттям **Г** знезаражуються
- 5. Увідповідніть властивість ГМО й прояв біологічної небезпеки.
- | | |
|---|---|
| 1 здатність передавати свої гени «диким» організмам | А швидке виснаження ґрунтів |
| 2 висока стійкість до шкідників | Б можливість витіснення природних видів зі складу екосистеми |
| 3 здатність синтезувати токсини | В поширення стійкості по екосистемі |
| | Г отруйність для нешкідників |

У житті все просто

- 6. Де в повсякденному шкільному й домашньому побуті ви зустрічаєтесь із біологічними небезпеками? Як можна уникати їхнього впливу?
- 7. У вигляді таблиці узагальніть небезпеки створення й використання ГМО та способи протидії ним.

У житті не все просто

- 8. Як ви вважаєте, чи достатнім буде рівень безпеки лабораторій BSL-4 для роботи із позаземними організмами, якщо такі існують і будуть доставлені на Землю? Щоб мати підґрунтя для роздумів, прочитайте роман Майкла Крайтона «Штам “Андромеда”» чи хоча б його переказ за посиланням. 

Проект для дружної компанії

- 9. Разом із вчителями та вчительками, керівництвом закладу освіти, спеціалістами і спеціалістками МВС і ДСНС розробіть план дій на випадок біотерористичного нападу на навчальний заклад. Ознайомте з ним педагогічний і учнівський колективи вашої школи.

§ 47. Біологія та майбутнє людства

Знання про функціонування нашого тіла є передумовою розвитку медицини майбутнього

У ХХІ ст. біологія є і буде одним із наріжних каменів існування цивілізації, бо саме ця наука забезпечує розуміння функціонування людського організму й біосфери Землі, від якої ми залежимо. Такі знання є вкрай важливими з огляду на прийдешні часи: лише докорінно зрозумівши себе й те, чим живе світ довкола, ми зможемо свідомо змінювати їх, більше створюючи, ніж руйнуючи.

Однією з нагальних потреб медицини є розуміння процесів, що відбуваються в організмі на молекулярному та клітинному рівнях, бо саме тут починаються всі хвороби. І допомогти з'ясувати це має біологія. Завдяки все більшому розширенню арсеналу підходів і методів біодосліджень, експериментам над штучно створеними тканинами й органами, зростанню можливостей моделювання та комп'ютерної обробки даних амбітна ціль — зрозуміти, як працює людський організм і чому та в який спосіб виникають хвороби, — є все ближчою до досягнення. Після розшифрування геному людини було розпочато рух до розшифрування й мапування інших важливих її систем: змін геному без зміни послідовності нуклеотидів (епігеному), набору матричних РНК (транскриптому), білків (протеому), нейронів головного мозку (коннектому, *рис. 47.1*), мікрофлори організму (мікробіому) тощо. Усі ці «-оми» якраз і є тим шляхом, що веде до створення всеохопної картини функціонування нашого організму. А отримані знання потрібні не лише для вирішення проблем людського здоров'я, але і є передумовою впровадження багатьох технологій медицини майбутнього.

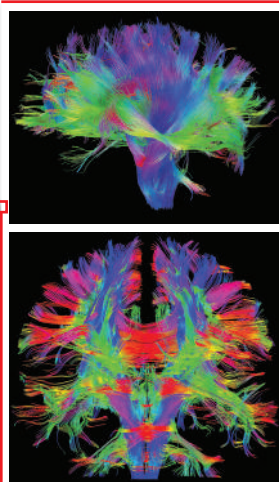


Рис. 47.1. Схеми основних нервових шляхів людського мозку (штучні кольори)

Персоналізована медицина зробить профілактику й лікування індивідуальними

Розвиток ефективних і дешевих методів діагностики й аналізу людського організму та розуміння процесів, що відбуваються в ньому, дозволить у майбутньому зробити медицину персоналізованою. Річ у тім, що чутливість до лікарських препаратів і ймовірність розвитку побічних ефектів від їх прийому залежать від індивідуальних особливостей кожної людини. А вони так само визначаються геномом. Тому, з'ясувавши генотип організму за допомогою ДНК-чипів чи послідовність нуклеотидів у ДНК завдяки секвенуванню¹, можна

¹ Нагадаємо, що секвенування — це визначення послідовності нуклеотидів у нуклеїновій кислоті; у 2018 році ціна комерційного секвенування знизилася до 200 доларів США за цілий геном людини!

визначити існування факторів, що можуть знижувати ефективність терапії чи сприяти розвитку побічних ефектів. Наприклад, препарат від естрогензалежного раку груди (тамоксифен) не давав результату під час лікування 65 % жінок, оскільки в них наявний специфічний алель гена, продукт якого швидко руйнував препарат. Тож тепер перед застосуванням тамоксифену визначають генотип за цим геном і призначають препарат лише тим, хто до нього чутливий. Зрештою, у майбутньому можлива навіть поява пацієнтоспецифічних ліків, створених винятково для лікування цієї людини — питання лише в ціні такої технології.

Визначення генотипу конкретної людини також може допомогти в профілактиці полігенних захворювань (діабету II типу, раку чи хвороб Альцгеймера й Паркінсона), які зумовлені наявністю специфічних алелей у генотипах. Лікарі й лікарки, знаючи з генотипу можливість їх розвитку, рекомендуватимуть пацієнтові чи пацієнтці змінити спосіб життя й частіше проходити обстеження, щоб діагностувати хворобу на початкових стадіях, якщо та з'явиться.

Нові технології дозволять контролювати, змінювати, виправляти параметри нашого тіла

Важливу роль у профілактиці відіграватимуть мініатюрні біосенсори-імпланти (*рис. 47.2*), які вживлятимуть під шкіру й забезпечуватимуть постійний контроль параметрів тіла людини. При цьому отримані дані можуть надсилатися не лише людині-носієві імплантату, але й до системи охорони здоров'я, що підвищить якість діагностики й швидкість реагування на зміни в тілі.



Досягнення регенеративної медицини — створення тканини й органів із стовбурових клітин та їх безпечна трансплантація — дозволять вирішити проблеми порушення роботи систем організму із віком, їхне оновлення й омолодження.

Генна терапія вже в найближчому майбутньому стане звичною медичною процедурою, що лікуватиме спадкові порушення та хвороби. Питання ж покращення людського генофонду лишається відкритим, хоча робота в цьому напрямі також буде рухатися: наприклад, люди «вакцинуватимуться» ще до народження (шляхом уведення генів антитіл до відомих антигенів) чи виправлятимуться гени, що є причиною розвитку хвороби. Але етичні проблеми таких модифікацій іще далекі від вирішення.

Зрештою, розвиток науки про старіння, накопичення знань про цей процес і технологій його сповільнення може значно збільшити тривалість життя людини, і, гіпотетично, зробити в далекому майбутньому людей безсмертними.

Біологічні технології повинні сприяти вирішенню глобальних екологічних проблем

Підвищення якості медичного обслуговування має й зворотній бік — менша смертність підвищить темп зростання чисельності людства. А це сприятиме посиленню глобальних екологічних проблем. Тому іншим завданням біології в майбутньому стане максимальне підвищення ефективності виробничих процесів зі зменшенням їх негативного впливу на довкілля.

Перша проблема, яка постане, — забезпечення їжею. Передусім її вирішення може зарадити штучний фотосинтез. Уже розроблено системи, які здійснюють розщеплення води на водень і кисень більш ефективно, ніж фотосистеми хлоропластів (рис. 47.3, А). Але отриманий водень — це паливо, а не їжа. Тому наразі триває створення пристроїв, що зможуть використовувати електрони, «відірвані» за рахунок енергії світла від Гідрогену для відновлення Карбону вуглекислого газу й утворення органічних сполук (рис. 47.3, Б).

Іншими перспективними підходами до вирішення проблеми харчування мільярдів людей є вертикальне фермерство та водне «сільське господарство» (використання аквакультури) (рис. 47.4). Перший із підходів дозволяє за рахунок вирощування рослин без ґрунту в поживних розчинах¹ розмістити окремі організми не поряд, а одне над одним. Це дає змогу значно зекономити площу, потрібну для отримання врожаю, а значить, не руйнувати нові природні екосистеми. Використання води замість ґрунту як поживного середовища вигідне тим, що 2/3 поверхні Землі вкрито нею. Нині в аквакультурі вирощують здебільшого молюсків, раків і риб, але в майбутньому основну увагу буде зосереджено на вирощуванні водоростей, оскільки це вигідніше.

Існують й інші проблеми негативного впливу людини на довкілля, вирішення яких сприятимуть біотехнології. Так, отримання альтернативних викопному видів палива з відходів завдяки археям (метан), бактеріям (водень), грибам (спирти), водоростям і наземним рослинам (олії) допоможе сповільнити зміну клімату. Створення корисних матеріалів і речовин на основі природних, зможе значно знизити рівень викидів до довкілля. Упровадження біологічних компонентів

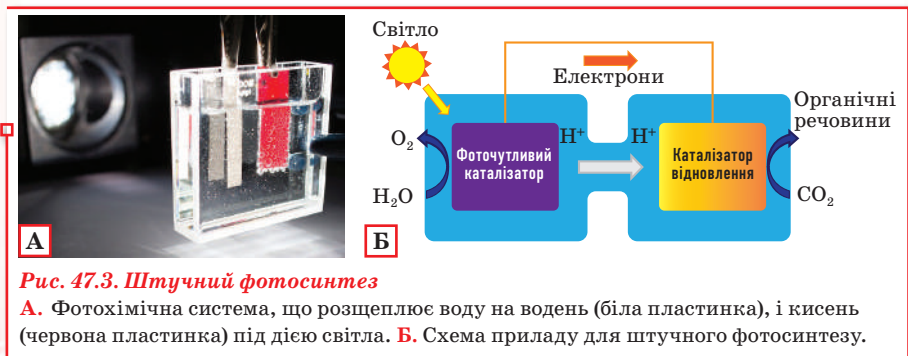


Рис. 47.3. Штучний фотосинтез

А. Фотохімічна система, що розщеплює воду на водень (біла пластинка), і кисень (червона пластинка) під дією світла. **Б.** Схема приладу для штучного фотосинтезу.

¹ Такий спосіб рослинництва отримав назву гідропоніка.

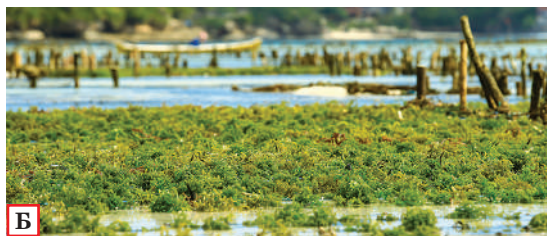
**А****Б**

Рис. 47.А. Перспективні способи вирощування рослин

А. Вертикальне фермерство дозволяє зекономити площу, зайняту агроекосистемами.

Б. Вирощування водоростей у аквакультури можливе в прибережних водах багатьох країн.

(ферментів, антитіл) у побут і промисловість позитивно впливатиме на їхню екологічність. Урешті-решт, створення й використання біологічних комп'ютерів і синтетичних форм життя може значно розширити наші технологічні можливості в непередбачений спосіб! А може, на жаль, стати зброєю масового ураження...

Космічна біологія майбутнього повинна забезпечити мандрівки Всесвітом

Уже зараз зрозуміло, що в недалекому майбутньому людство зможе вийти за межі Землі й почати заселяти космос. Тоді перед біологією виникне ряд проблем, пов'язаних із життям людей та інших організмів за відсутності сили тяжіння та під дією космічної радіації. Річ у тім, що за відсутності гравітації кістки стають менш міцними, м'язи — слабшими, а параметри серцево-судинної системи суттєво змінюються. Космічна радіація¹ є причиною мутацій і розвитку раку. Ймовірніше, вирішення обох проблем буде технологічним, але біології майбутнього ще доведеться навчитися визначати безпечність і перспективність різних рішень окреслених проблем, а можливо, й зарадити ним у якийсь спосіб.

Іншим підходом до вирішення проблеми здоров'я людей під час тривалої космічної мандрівки є введення їх у стан **кріосну**. Американське національне управління з аеронавтики й дослідження космічного простору (NASA) вже працює над реалізацією цієї технології. Для цього запропоновано вводити людей у медикаментозний сон і переносити до камери терапевтичної гіпотермії. За зниженої температури швидкість процесів обміну речовин сповільниться й тіло майже не руйнуватиметься. Під час кріосну поживні речовини вводитимуться, а продукти обміну речовин виводитимуться через трубки, за аналогією до методу очищення крові діалізом.

Щоб заселити нові планети, потрібно створити на них біосферу

Коли людство все ж таки досягне інших планет (імовірно, першою з них буде Марс), то виникне дві проблеми: як змінити умови на планеті для того, щоб можна було на ній жити в незамкненому просторі (не під куполом чи в герметичних печерах), та згодом — як доправити на неї більше людей для заселення.

¹ У Сонячній системі це переважно зоряний вітер від Сонця — потік заряджених частинок, що на поверхню Землі не потрапляє й відхиляється магнітосферою.

Тераформування¹ — процес зміни кліматичних умов космічного тіла для життя наземних істот — однозначно буде здійснюватися за участі живих організмів (рис. 47.5). Наразі відомо, що в змодельованих умовах Марсу можуть виживати деякі ціанобактерії та археї. Оселення цих організмів на планеті призведе до виділення парникових газів (вуглекислого газу, метану), що сприятиме розігріванню планети. Крім того, разом із киснем вони поступово утворюватимуть первинну атмосферу планети, а рештки відмерлих організмів ставатимуть основою ґрунту. Але для реалізації цього сценарію обрана для заселення планета повинна мати значні запаси води. Майбутнім «інопланетним» екологам і екологиням доведеться створювати за допомогою методів генної інженерії нові види мікро- і макроорганізмів, пристосованих до умов нового світу. Ба більше, їм доведеться конструювати цілі позаземні екосистеми. І в усіх цих справах не обійтися без розуміння закономірностей біології та екології!

Проблема ж доставки людей на іншу планету вже частково розв'язана. Найімовірніше, поселенці полетять до свого нового дому у вигляді заморожених ембріонів. Наразі вже розроблено технологію заморожування ембріонів у рідкому азоті без втрати їхньої життєздатності. А «винощування» плоду буде здійснено спочатку на поживному середовищі, а згодом у штучній матці (рис. 47.6).

Однак, не варто забувати, що на нашій планеті ще вдосталь незаселених місць і океанічних просторів. Освоїти їх набагато простіше (і дешевше!), ніж навіть сусідній Місяць. Але для здійснення цього нам потрібно навчитися не «висмоктувати соки» із планети й не руйнувати всіма можливими шляхами, а зрозуміти її, нарешті полюбити і зберегти. Зберегти для себе і своїх дітей!

¹ Від лат. *terra* — земля і *forma* — вид.



Рис. 47.5. Прогнозовані зміни зовнішнього вигляду Марсу в процесі тераформування

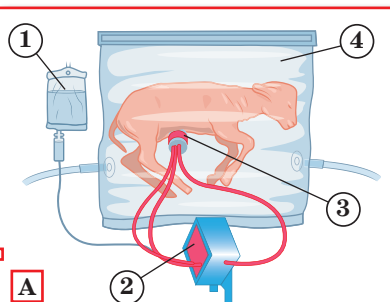


Рис. 47.6. Штучна матка

А. Схема пристрою. 1. Джерело поживних речовин. 2. Пристрій із очищення й насичення крові киснем і поживними речовинами. 3. «Пуповина». 4. Пакет із навколоплідною рідиною.
Б. Плід ягня в штучній матці.

Дорогі випускники й випускниці! Ось і завершився курс вивчення біології в школі. Згадайте, скільки всього було в ньому: біологія рослин, грибів, бактерій, тварин; біологія людини; загальна біологія, окремі розділи біології й екології в старшій школі. Протягом цього часу на уроках ви вчилися впевнено й відповідально діяти в довкіллі, пізнавали принципи функціонування живої природи, як дбати про своє здоров'я й здоров'я близьких людей.

Учительки й учителі професійно й захопливо вчили вас любити та розуміти рідну природу й природу всієї планети, усвідомлювати важливість цього для збереження життя на Землі. Зрештою, ви закінчуєте навчання в школі й для багатьох із вас це був останній урок із біології в житті. Але життя не зупиняється, як не завершується й наука про нього — біологія. Продовжуйте цікавитися життям — і воно буде захопливим і щасливим для вас!

Кожен і кожна з вас — людина, чия біосоціальна сутність не викликає сумнівів. Ви живете в суспільстві й у природі як об'єднувальна ланка двох світів, тому якими вони будуть, залежить лише від вас. Чи збережемо ми природу планети для розвитку людства та його щасливого існування? Чи будемо жити довго в доброму здоров'ї? Чи збудуємо заможні сім'ї й виростимо щасливих і здорових дітей? Це питання, на які дати відповідь допомагали ваші вчительки й учителі біології. Подякуйте їм за це!

А ви крокуєте до світу подальшої освіти й професійної діяльності. Про яку б професію ви не мріяли сьогодні, завтра світ зміниться, і вона може бути вже зовсім іншою. Головний багаж, із яким ви залишаєте школу — це вміння вчитися, розучуватися й переучуватися. Нічого не бійтеся, особливо помилятися. Не засмучуйтеся, якщо будуть невдачі та провали. Пам'ятайте: не помиляється той, хто нічого не робить. Робіть спроби, експериментуйте, досліджуйте й тіштеся кожній, навіть найменшій, перемозі. Радійте перемогам друзів і знайомих! Будьте позитивними, радісними й самодостатніми! Лише таким людям посміхається удача.

Біологія сьогодні — це найпотужніший двигун прогресу людства. Біологічні науки, екологія, медицина й біотехнології піднімають нас на все вищі й вищі щаблі розуміння світу природи й щасливого життя. Знайте, немає нічого неможливого! Але щоб досягти успіху, потрібно палко любити те, що робиш. Отож любіть свою справу! Любіть її заради того, що вона робить світ кращим, а вас і людство щасливішими. Ставте перед собою амбітні цілі й досягайте їх, оточуйте турботою й любов'ю близьких і рідних. Будьте гідними громадянами й громадянками світу з Україною в серці!

*Із любов'ю й повагою,
автори*

Використані джерела

Агроекологія: Навч. посібник / О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін. — К.: Вища освіта, 2006.

Білоконь С.В. Основи біоетики та біобезпеки: навчальний посібник. — Одеса: Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2017. — 155 с.

Екологія довкілля. Охорона природи: навчальний посібник / В. Грицик, Ю. Канарський, Я. Бедрій. — К.: Кондор, 2009.

Злобін Ю.А., Кочубей Н.В. Загальна екологія: Навчальний посібник. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2003.

Клінічна та лабораторна імунологія. Національний підручник. За загальною редакцією доктора медичних наук, професора Кузнецової Л.В.; доктора медичних наук, професора Фролова В.М.; доктора медичних наук, професора Бабаджана В.Д. — К.: ООО «Полиграф плюс», 2012.

Мягченко О.П. Основи екології. Підручник. — К.: Центр учбової літератури, 2010.

Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. — К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грінь Д.С., 2017.

Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология: Учебник для студентов педагогических вузов. — М.: Дрофа, 2004.

Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение: Учеб. для биол. спец. вузов. — 6-е изд., испр. — М.: Высш. шк., 2006.

Якобисяк М. Імунологія / Переклад з польської за редакцією проф. В.В. Чоп'як. — Вінниця: НОВА КНИГА, 2004.

Basic and Applied Aspects of Biotechnology / Gupta V., Sengupta M., Prakash J., Charan Tripathy B. — Springer, 2017.

Campbell Biology, — 11th ed. / Urry L., Cain M., Wasserman S., Minorsky P., Reece J. — Pearson Higher Education, 2016.

Cunningham W.P., Cunningham M.A. Environmental science: a global concern, — 11th ed. — McGraw-Hill Higher Education, 2010.

Ecology, — 4th ed. / Bowman W.D., Hacker S.D., Cain M.L. — Sinauer Associates Inc., 2017.

Essentials of clinical immunology, — 6th ed. / Chapel H., Haeney M., Misbah S., Snowden N. — Wiley Blackwell, 2014.

Futuyma D.J., Kirkpatrick M. Evolution, — 4th ed. — Sinauer Associates Inc., 2017.

Molles M.C.Jr. Ecology: concepts and applications, — 7th ed. — McGraw-Hill Education, 2016.

Odum, E.P. Basic Ecology. — CBS College Publishing, New York, 1983.

Ridley M. Evolution, — 3rd ed. — Blackwell Publishing, 2004.

Thieman W.J., Palladino M.A. Introduction to biotechnology, — 3rd ed. — Pearson, 2013.

Smith T.M., Smith R.L. Elements of ecology, — 9th ed., global ed. — Pearson Education Limited, 2015.

Wright R.T., Boorse D.F. Environmental Science: Toward a Sustainable Future, — 13th ed. — Pearson Higher Education, 2017.

Для підготовки підручника було також використано матеріали з періодичних наукових видань.

Біологічні Інтернет-ресурси

Усі посилання, наведені у підручнику <http://helianthus.com.ua/books/bio11>

Курси дистанційного вивчення біології <https://www.ed-era.com/>

<https://www.khanacademy.org/>

Наукові ігри <https://biomanbio.com/>

<https://www.sciencegamecenter.org/>

Біологічні бази даних

База даних білків <http://www.rcsb.org/>

База даних генів <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene>

База даних геномів <http://ensemblgenomes.org/>

Не забувайте також про існування української версії Вікіпедії, до створення якої можете долучитися й ви!

A		B	
Агробактерія.....	277	Вакцинація.....	211, 240, 245–246, 252
Агроєкосистема		Види-вселенці <i>див.</i> Інтродуценти	
<i>порівн.</i> Екосистема.....	121–122	Видання <i>див.</i> Рослиноідність	
Агроценоз		Відновлювані джерела енергії... 155, 187	
<i>порівн.</i> Біоценоз.....	121–123	ВІЛ/СНІД.....	235, 244, 253
Адаптація.....	5	Г	
— адаптивний потенціал.....	32–33	Генна (генетична) інженерія.....	275
— відносність.....	8–9	— генетична рекомбінація.....	275
— властивості.....	6–8	— генна гармата.....	277
— клітинна.....	26–27	— мікроін’єкція.....	277
— коадаптація.....	18	— трансформація.....	276
— молекулярна.....	24–25	Генетична (генна) терапія.....	283
— постадаптація.....	15	— CRISPR/Cas9.....	285
— преадаптація.....	15	— способи.....	283–284
— стратегії адаптування.....	17	Генетично модифікований організм.....	275
Адаптивна радіація.....	21–22	Генофонд.....	96
Акліматизація.....	177	Гетерозис.....	263–264
— реакліматизація.....	177	Гібридизація.....	260, 263
Антиген.....	251	— види <i>див.</i> Інбридинг.....	263–265
Антитіло.....	251–252	Гібридома.....	279–280
B		Гігієна (наука).....	206
Біогаз.....	171	Гідробіонти.....	43–46
Біогеографія.....	119	Гіподинамія.....	215
Біогеохімічний цикл.....	133	Глобальне потепління.....	142, 153–154
— Карбону.....	133–134	Г	
— Нітрогену.....	136–137	Грунтові організми.....	47–48
— Оксигену.....	135–136	Гомойотермні організми.....	52–54
Біологічна безпека.....	303	Д	
Біологічна зброя.....	303	Дегуміфікація.....	167
Біологічна небезпека.....	302	Демографічний вибух.....	140
Біологічний захист.....	305	Детритофаги.....	110
Біологічний тероризм.....	304	Децелюляризація.....	300
Біологічні ритми.....	72	Діапазон толерантності.....	84–85
— адаптивні біоритми.....	72–74	ДНК-чип.....	297
— біологічний годинник.....	73	Добір.....	
Біолюмінесценція.....	45	— природний.....	11
Біом.....	128	— штучний.....	260, 263
Біореактор.....	291	Добрива.....	121, 141, 143–144, 169
Біорізноманіття.....	174	Довкілля <i>див.</i> Навколишнє середовище	
— зменшення.....	143, 174–175, 178	Дрейф генів.....	12
Біосенсори.....	294	Е	
Біосфера.....	126	Еволюція.....	
— властивості.....	127	— адаптивна.....	11
— жива речовина.....	127–128	— коеволуція.....	19
— межі.....	126	Еврибіонти.....	85
— ноосфера.....	130	<i>див. також</i> Екологічна пластичність	
Біотехнологія.....	289	Евтрофікація.....	164
— галузі.....	290	Екологічна індикація	
Біотоп.....	103–104	<i>див.</i> Екологія — методи	
Біоценоз.....	104	Екологічна ніша.....	31
— зв’язки між популяціями.....	109	— правило обов’язкового	
— структури.....	105–106	заповнення.....	35

— принцип конкурентного виключення	34, 93	— фізична активність	216–217
Екологічна пластичність	31–32	— харчова гігієна	222
<i>див. також</i> Діапазон толерантності		— харчування	217–219
Екологічна політика	198	Здоров'я	204–205
Екологічне мислення	191	— складові	205–206
Екологічний моніторинг		— чинники впливу	209–213
<i>див.</i> Екологія — методи		Зелена книга	195
Екологічні фактори (чинники)	84	I	
— лімітувальні (обмежувальні)	91	Імунна система	66, 250
Екологія	79	Імунотерапія	253–254
— галузі	79	— імунокорекція	253
— завдання	80	Імуноферментний аналіз	296
— методи	80–82	Інбридинг	263–264
— об'єкти	79	Інвазійні види	150, 176
— предмети	80	— види і механізми імунітету	250–252
Екосистема	103	— імунна пам'ять	252
— властивості	106–107	— імунні порушення	253
— клімаксна	116	Інтродуценти	176–177
Екстракорпоральне запліднення	299	— реінтродукція	177
Епідеміологія	207	Інфекції, що передаються переважно статевим шляхом	235–236
Ерозія ґрунту	168	K	
Є		Кислотні опади	137, 156–157
Євгеніка	286	Клітинна інженерія	279–280
Ж		Клонування	280
Життєва форма	37	Коменсалізм	62, 86–87
З		Конкуренція	33
Забруднення	141–142, 146–150	Консументи	104
— критерії	147	Контрацепція	237–238
— типи	146–147	M	
— України	143–144, 150–151	Медико-генетичне консультування	237
Забруднювачі	146	Медицина	206, 210–211
— атмосфери	155–156	— персоналізована	309
— гідросфери	163–164	— регенеративна	310
— ґрунтів	169–170	— репродуктивна	298
Закислення океанічних вод	161	Межі витривалості	
Закон		<i>див.</i> Діапазон толерантності	
— гомологічних рядів спадкової мінливості	267	Метод цитоплазматичної заміни	299
— екології Баррі Коммонера	9, 93–94	Механізми передачі інфекцій	244
— єдності організму і середовища його мешкання	9	Моделювання <i>див.</i> Екологія — методи	
— компенсації екологічних факторів	92	Мутація	27–28
— мінімуму	91	Муталізм	61–62, 85–86
— оптимуму	91	H	
— сукупної дії екологічних факторів	92–93	Навколишнє середовище	84
— толерантності	92	Наука про довкілля	79, 140
Здоровий спосіб життя	215	Нектон <i>див.</i> Гідробіонти	
— відпочинок	224–225	Норма реакції	33, 212
— особиста гігієна	223–224	O	
— побутова гігієна	224	Озонові діри	157
		Опустелювання	168
		Організми за відношенням до температури	39–40

П		
3D-принтинг	300	Сівозміна.....
Паразитизм	61, 64–65	Симбіоз.....
— значення	68	— види
— поведінка хазяїна	67	Смог.....
— пристосування	67–68	Сталий розвиток.....
— форми	65–66	Стенобіонти
Парниковий ефект.....	142, 153	<i>див. також</i> Екологічна пластичність
Пестициди.....	122, 148, 210	Стовбурові клітини
Підвищення рівня океану	161	Стрес.....
Піраміда екологічна	112–113	Сукцесія
Планктон <i>див.</i> Гідробіонти		— типи
Пойкілотермні організми	51–53	Т
Полімеразна ланцюгова реакція.....	296	Тераформування
Поліплоїдія.....	266	Терморегуляція
Популяційні хвилі.....	99	— у людини
Популяція	96	Тканинна інженерія.....
— гомеостаз.....	98	Транспірація.....
— класифікація.....	96–97	Трофічна мережа.....
— структура	99–100	Трофічний (харчовий) ланцюг.....
— характеристики	97	У
Потік генів.....	12	Угруповання <i>див.</i> Біоценоз
Правило		Урбанізація
— Алена	41	Ф
— Бергмана	40	Фотоперіодизм.....
— екологічної піраміди.....	112–113	Х
— обов’язкового заповнення екологічної ніші <i>див.</i> Екологічна ніша		Хвороби
Правило		— автоімунні <i>див.</i> Імунна система — імунні порушення
— Анни Кареніної	259	— інвазивні
— екологічної відповідності.....	93	— інфекційні
— екологічної індивідуальності	93	— неінфекційні
— конкурентного виключення <i>див.</i> Екологічна ніша		— профілактика
— Чорної королеви	20	— спадкові
Природоохоронні території	192–194	— хронічні
Продуценти	104	Хижацтво.....
Р		Ц
Рациональне природо-користування	82, 184	Центри різноманіття й походження культурних рослин
Редуценти	104	Ч
РНК-інтерференція.....	297–298	Червона книга
Рослиноідність.....	87–88	Чорний список.....
С		Ш
Селекція	259	Шляхи передачі інфекцій
Середовище мешкання.....	37	Штучний мутагенез
— водне	43–46	— види
— ґрунтове.....	46–48	Я
— сміність	98	Якість природного середовища.....
— інші організми.....	58	Ярусність
— наземно-повітряне	38–41	
— природні ресурси	184	

<i>Переднє слово</i> 3	§ 27. Антропічний вплив на біорізноманіття 174
Адаптація	<i>Практична робота</i>
§ 1. Адаптація — властивість біологічних систем..... 5	Оцінка екологічного стану свого регіону 182
§ 2. Закономірності формування адаптацій..... 11	§ 28. Концепція сталого розвитку 184
§ 3. Стратегії адаптування..... 17	§ 29. Екологічне мислення й охорона довкілля 191
§ 4. Молекулярні та клітинні адаптації..... 24	§ 30. Екологічна політика в Україні 198
§ 5. Екологічна ніша..... 31	Біологічні основи здорового способу життя
§ 6. Життя в наземно- повітряному середовищі..... 37	§ 31. Здоров'я людини 204
§ 7. Життя у водному та ґрунтовому середовищах..... 43	§ 32. Чинники впливу на здоров'я 209
§ 8. Способи терморегуляції організмів 51	§ 33. Принципи здорового способу життя – 1 215
§ 9. Організм як середовище мешкання 58	§ 34. Принципи здорового способу життя – 2 222
§ 10. Паразитизм..... 64	§ 35. Алкоголь, тютюн, наркотики і здоров'я 228
<i>Практична робота</i>	§ 36. Репродуктивне здоров'я 235
Визначення ознак адаптованості різних організмів до середовища мешкання..... 71	§ 37. Профілактика захворювань людини 242
§ 11. Біологічні ритми 72	<i>Практична робота</i>
Екологія	Розробка рекомендацій щодо профілактики захворювань..... 249
§ 12. Екологія як наука..... 79	§ 38. Імунна система 250
§ 13. Екологічні фактори..... 84	Застосування результатів біологічних досліджень у медицині, селекції та біотехнології
§ 14. Екологічні закони..... 91	§ 39. Селекція 257
§ 15. Популяція..... 96	§ 40. Селекція рослин і тварин..... 263
§ 16. Екосистема..... 103	§ 41. Селекція мікроорганізмів..... 270
§ 17. Зв'язки між популяціями в екосистемі 109	§ 42. Генна й клітинна інженерія 275
§ 18. Сукцесії..... 115	§ 43. Генна інженерія людини 283
§ 19. Агроценоз..... 121	§ 44. Сучасна біотехнологія..... 289
§ 20. Біосфера..... 126	§ 45. Медична біотехнологія..... 296
§ 21. Біогеохімічні цикли..... 133	§ 46. Біологічна безпека 302
Сталий розвиток та раціональне природокористування	§ 47. Біологія та майбутнє людства 309
§ 22. Екологічні проблеми сучасності..... 140	<i>Кінцеве слово</i> 314
§ 23. Забруднення довкілля 146	<i>Корисні посилання</i> 315
§ 24. Антропічний вплив на атмосферу..... 153	<i>Предметний покажчик</i> 316
§ 25. Антропічний вплив на гідросферу..... 161	
§ 26. Антропічний вплив на літосферу..... 167	

Навчальне видання

ШАЛАМОВ Руслан Васильович
КАЛПБЕРДА Микита Сергійович
НОСОВ Георгій Андрійович

БІОЛОГІЯ

(рівень стандарту)

Підручник для 11 класу закладів загальної середньої освіти
Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

**Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено.**

Редактор *Юлія Тимченко*
Комп'ютерна верстка *Михайло Чумак*
Коректор *Світлана Живолуп,*
Владислав Колеснік
Художник *Костянтин Дехніч*
Художнє оформлення *Костянтин Дехніч*

В оформленні підручника використані зображення,
розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Формат 60x90 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 20щ.
Наклад 28332 примірників. Зам. № 9371.

ТОВ «ТО «Соняшник»
Адреса видавництва: 61115, м. Харків, а/с 3182.
helianthus.com.ua/books
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 5180 від 11.08.2016 р.

Видруковано з готових діапозитивів у ТОВ «Поліпрінт»
04074, м. Київ, вул. Лугова, 1А
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 1250 від 27.02.2008 р.