

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПЕДАГОГІКИ

О. Г. КОЗЛЕНКО

БІОЛОГІЯ

9 КЛАС

ПОСІБНИК

Київ
Видавничий дім « Сам »
2017

УДК 611/612](075.3)

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту педагогіки НАПН України
(протокол № 5 від 01.06.2017 року)*

Рецензенти:

Атемасов Андрій Анатолійович, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник НДІ біології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;
Діска Ксенія Олегівна, вчитель біології середньої загальноосвітньої школи № 104 імені О. Ольжича м. Києва;
Трубачева Світлана Едуардівна, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу дидактики Інституту педагогіки НАПН України.

Козленко О. Г.

Біологія. 9 клас : посібник / О. Г. Козленко. — К. : Видавничий дім «Сам», 2017. — 144 с.

ISBN 966-8714-35-0

Посібник створено за експериментальною навчальною програмою «Біологія. 9 клас» та у відповідності до програми з біології для учнів 6-9 класів загальноосвітніх навчальних закладів. Його зміст включає загальнобіологічні знання за розділами, на яких варто зацентувати увагу вчителів через велику кількість складних для засвоєння питань: «Спадковість», «Організм і довкілля» та «Еволюція органічного світу».

Посібник містить розділ «Завдання за курс», який учитель може використовувати для проведення перевірки знань учнів. Завдання в цій частині посібника розподілено по типах (завдання з обиранням однієї правильної відповіді, завдання на встановлення відповідності, на класифікацію, на встановлення послідовності, відкриті завдання).

Посібник призначений для використання вчителями при організації навчальної діяльності учнів 9-го класу.

УДК 611/612](075.3)

ISBN 966-8714-35-0

© Інститут педагогіки НАПН України, 2017
© Козленко О.Г., 2017
© Видавничий дім «Сам», 2017

ЗМІСТ

Передмова	4
Вступ	5
Основні галузі біології. Рівні організації біологічних систем	5
Методи біологічних досліджень	9
Спадковість	12
Нестатеве та статеве розмноження	12
Клітинні основи успадкування. Мейоз. Утворення статевих клітин	14
Зчеплене успадкування. Хромосомне визначення статі	18
Методи генетики. Родоводи	21
Успадкування ознак і закони спадковості. Г. Мендель і закони спадковості	23
Взаємодія алелів. Множинний алелізм	26
Успадкування ознак, пов'язаних зі статевими хромосомами	28
Незалежне успадкування кількох ознак	30
Незчеплені та зчеплені гени	33
Мінливість. Комбінативна та мутаційна мінливість	35
Спадкові захворювання	38
Модифікаційна мінливість	42
Успіхи сучасної генетики. Методи селекції	44
Селекція рослин, тварин, мікроорганізмів	45
Біотехнології. Генетична інженерія. Генотерапія	48
Клітинні технології. Штучне запліднення. Клонування	52
Організми і довкілля	55
Екологія. Екологічні фактори. Лімітуючий фактор. Ніша	55
Лімітуючі абіотичні чинники середовища існування	58
Угруповання. Екологічні системи. Біосфера	60
Біотичні фактори: зв'язки між організмами.	
Харчові ланцюги та екологічні піраміди	62
Розвиток і зміни природних співтовариств. Сукцесія	65
Різноманіття природних і штучних співтовариств	67
Вчення про біосферу. Речовина і енергія в біосфері	70
Глобальні біогеохімічні цикли	72
Еволюція органічного світу	76
Ч. Дарвін і його теорія еволюції	76
Вид. Виникнення видів. Вид та мікроеволюція	78
Види та адаптації	82
Біорізноманіття, еволюція та систематика. Основні групи організмів	85
Макроеволюція. Докази еволюції	87
Літопис Землі. Походження життя	91
Життя в протерозойську, палеозойську, мезозойську і кайнозойську ери	93
Походження людини. Еволюція людини	100
Австралопітеки. Архантропи, палеантропи, неоантропи.	
Сучасне людство	104
Людство і біосфера. Антропічний фактор	108
Глобальні проблеми біосфери. Охорона природи і збереження біорізноманіття ..	108
Узагальнення	114
Основні властивості живих систем	114
Завдання	116
Спадковість	116
Організм і довкілля	124
Еволюція органічного світу	131

Передмова

ШАНОВНІ ДЕВ'ЯТИКЛАСНИКИ!

У попередніх класах ви ознайомилися з біологією рослин, грибів, бактерій, тварин і людини. Вивчаючи цей навчальний розділ, ви розширите та узагальните раніше здобуті знання про клітину як одиницю живого, доповните їх знаннями про найважливіші органічні речовини, механізми клітинних процесів, збереження та реалізацію спадкової інформації, закономірності успадкування ознак; ознайомитеся з еволюцією органічного світу та її наслідками; узагальните знання про функціонування надорганізмових біологічних систем тощо.

Здобуті знання дадуть вам змогу сформувати наукову картину живої природи, уявлення про історичний розвиток та єдність органічного світу.

З метою кращого засвоєння змісту в посібнику матеріал поділено на розділи та теми. У самих темах виділено кілька рубрик.



«Запам'ятайте!» — так позначено важливий термін і його визначення;



«Надайте відповіді на запитання» — завдання, виконавши які, ви перевірите рівень засвоєння навчального матеріалу;



«Обговоріть у групах» — завдання, які доцільно виконати в групі, що дасть вам змогу спілкуватися в процесі навчання, обмінюватися думками і відповідними знаннями.

БАЖАЄМО УСПІХІВ!

Вступ

Основні терміни та поняття: наука, описовий метод, експериментальний метод, модель, моделювання

Основні галузі біології. Рівні організації біологічних систем



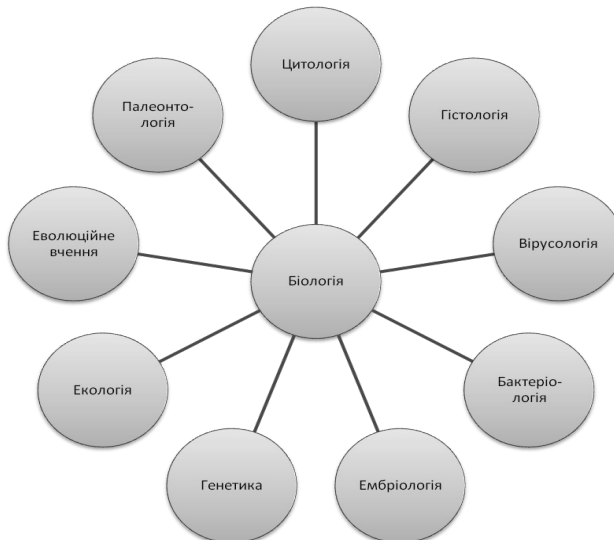
Цитологія, гістологія, генетика, еволюційне вчення, палеонтологія, вірусологія, бактеріологія, ембріологія, селекція, екологія; рівні організації життя

Біологія (від грец. *біос* — життя + *логос* — слово, знання, вчення) — комплекс наук, що вивчають живу природу, закони її існування та розвитку. Термін *біологія* запропонували у ХІХ ст. (1802 р.) незалежно один від одного два вчені: французький — Жан-Батіст Ламарк та німецький — Готфрід Рейнхольд Тревіранус.

Система біологічних наук

Біологія, яку ви вивчатимете цього року, утворює **систему біологічних наук** (мал. 1), які безпосередньо або опосередковано пов'язані з нею. До них належать: цитологія, гістологія, генетика, еволюційне вчення, палеонтологія, вірусологія, бактеріологія, ембріологія, селекція. **Цитологія** (від грец. *цитос* — клітина, *логос* — слово) — наука про будову та функції клітин, а **гістологія** (від грец. *гістос* — тканина) — наука про будову та функції тканин. Наука про явища спадковості та мінливості організмів — це **генетика** (від грец. *генетикос* — походження). Наука про закономірності еволюції — це **еволюційне вчення** (від лат. *еволюціо* — розгортання), а про живий світ геологічного минулого — **палеонтологія** (від грец. *паліос* — стародавній, *онтос* — істога), **Вірусологія** (від лат. *вірус* — отрута) — це наука про неклітинні форми життя (віруси), а **бактеріологія** (від грец. *бактеріон* — паличка) — наука, що досліджує бактерії. **Ембріологія** (від грец. *ембріон* — зародок) — наука про індивідуальний розвиток організмів у зародковий період.

Наука **екологія** (від грец. *ойкос* — дім, житло) досліджує взаємозв'язки між організмами та середовищем їхнього існування, структуру та закономірності функціонування різноманітних угруповань організмів (популяцій, екосистем тощо).



Мал. 1. Система біологічних наук

Значення біологічних наук в житті людини і суспільства полягає у формуванні наукового світогляду, який базується на знаннях про історичний розвиток органічного світу від молекулярного до біосферного рівня, про живі системи та наукову картину світу, про основоположні філософські категорії, такі як життя та його ознаки, про єдність живої природи. Перед людиною щоразу дедалі гостріше постають питання збереження здоров'я, забезпечення продуктами харчування, збереження різноманіття та охорони навколишнього середовища. Тому розвиток галузей (медицини, рослинництва, тваринництва, фармакології, ветеринарії тощо), які причетні до їх розв'язання, базується на знаннях конкретних біологічних наук застосування біологічних знань у різних галузях господарства).

Теоретичні досягнення *біології* є основою для розвитку медицини. Зокрема *генетичні* дослідження дають змогу розробляти методи ранньої діагностики, лікування та профілактики спадкових хвороб людини.

Розвиток *генетики* як науки є основою для *селекційних* досліджень, спрямованих на створення високопродуктивних сортів культурних рослин і порід домашніх тварин, що сприяє підвищенню інтенсивності сільськогосподарського виробництва (тваринництва, рослинництва) і відповідно забезпечує потреби населення в харчових ресурсах.

Розвиток *молекулярної біології*, а саме розкриття молекулярної будови структурних одиниць спадковості (генів) є основою для розвитку *генетичної інженерії*, досягнення якої сприяють створенню організмів з новими комбінаціями спадкових ознак і властивостей, наприклад, рослин з підвищеною стійкістю до захворювань, до засоленості ґрунтів, зі здатністю до фіксації атмосферного азоту тощо.

Із *генетичною інженерією* пов'язаний прогрес *біотехнологій*, результатом якого є промислове виробництво біологічно активних речовин: гормонів (інсуліну), інтерферону, антибіотиків, амінокислот, ферментів, вітамінів, кормових білків, нових вакцин для профілактики інфекційних захворювань людини і тварин, стимуляторів росту і засобів захисту рослин тощо.

Вивчення взаємовідносин між організмами сприяло створенню біологічних методів боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур.

Питання збереження біосфери — це питання *екології*, знання якої базуються на біологічних дослідженнях. Вони допомагають розв'язати проблему збереження біологічної різноманітності, а саме виявляють і передбачають наслідки втручання людини в природу, шляхи їх подолання.

Ігнорування законів біології призводить до тяжких наслідків, як для природи, так і для людини. Тому *біологічні знання* дають змогу змінити ставлення до природних об'єктів, свою поведінку в природному середовищі. Особливої уваги потребує відповідальна кваліфікована організація господарської діяльності з урахуванням біосферної етики, розумінням необхідності раціонального використання та відновлення природних ресурсів, вироблення життєвих навичок безпечно жити в сучасному високотехнологічному суспільстві та цивілізовано взаємодіяти з навколишнім середовищем, уміти застосовувати знання з біології у повсякденному житті.

Біологічні науки тісно поєднані з іншими природничими (фізика, хімія тощо) та гуманітарними (філософія, суспільствознавство, соціологія, економіка тощо) науками. В результаті синтезу фізичних і хімічних знань з біологічними знаннями утворилися нові наукові галузі: *біофізика* і *біохімія*. Ці науки вивчають процеси в клітині та організмі в цілому: *біофізика* — ізичні; а *біохімія* — хімічні процеси. Життя як наукова категорія є предметом вивчення філософії, суспільствознавства, соціології.

Властивості живих організмів

Питання «Що є життя?» — одне з фундаментальних не лише в біологічній науці, але й у людській цивілізації в цілому. Його намагаються розв'язати протягом багатьох століть богослови і поети, філософи й науковці.

Порівняно просто можна сформулювати **емпіричні** (такі, що ґрунтуються на спостереженнях) критерії, що змальовують розмаїття живих форм на Землі:

— клітинна будова;

-
- перетворення речовини й енергії, яке здійснюють високоефективні каталізатори білкової природи — ферменти;
 - збереження спадкової інформації у вигляді послідовності нуклеїнових кислот;
 - здатність до саморегуляції й підтримання гомеостазу (відносної сталості внутрішнього середовища);
 - здатність реагувати на зміни, що відбуваються у навколишньому середовищі (подразливість);
 - здатність відтворюватися (розмножуватися) й розвиватися.

Проявом останнього є як зміни, що відбуваються з особою в ході її життєвого циклу (індивідуальний розвиток), так і загальне ускладнення живих форм у часі (загальний чи еволюційний розвиток живої матерії).

Робоче визначення життя, що ґрунтується на сучасних уявленнях про перебіг процесів у живому, може бути сформульовано в такий спосіб.

Життя — це підтримання й відтворення характерних високоупорядкованих структур, яке вдосконалюється у ході еволюції і здійснюється відповідно до внутрішньої програми завдяки зовнішнім джерелам речовини й енергії.

Системи та рівні організації живих систем

Продуктивним теоретичним узагальненням, яке дозволило по-новому розглядати проблему життя, стала у ХХ ст. теорія систем та її додатки.

Система (від грец. поєднання, утворення, організм) — упорядковане ціле, що складається із взаємопов'язаних частин. Проте не кожна множина довільно об'єднаних об'єктів є системою. Істинна система має задовольняти такі вимоги:

Цілісність — система функціонує як єдине ціле. Вона характеризується певною структурою. Зміна складу елементів чи зв'язків між ними може зруйнувати систему (чи перетворити її на нову систему з іншими властивостями). Одні й ті самі елементи можуть належати до складу різних систем. Цілісність передбачає взаємодію елементів системи. Характер та інтенсивність цієї взаємодії можуть бути найрізноманітнішими, але вони обов'язково повинні бути. (*Приклад*: одні й ті самі атоми, взаємодіючи між собою, формують різні молекули. Однак молекули — не просто сума атомів. Це складна система з атомних ядер і розподілених між ними електронних хмар усупільнених електронів.)

Кінцевість — система має певні (кінцеві) розміри. Об'єкти, з якими система взаємодіє, формують середовище існування системи. (*Приклад*: вода — це середовище існування для риб, космічний вакуум — середовище існування орбітальної станції.)

Емерджентність — властивості системи як цілого не можуть бути зведені до властивостей її складових елементів. (*Приклад*: ці властивості спостерігав кожний, хто намагався зібрати «за описом» прилад із деталей чи з'єднати елементи електричного кола. «Мертві» деталі «оживають», якщо вони з'єднані правильно — лампочка засвічується, радіоприймач починає «ловити» радіохвилі тощо.)

Слід розуміти, що саме поняття «системи» не є «біологічним»: воно значно ширше. Властивості систем притаманні як багатьом фізичним та хімічним об'єктам, так і соціумам (організованим групам людей). Отже, здатність організовуватися у системи — фундаментальна властивість матерії як такої.

Системи бувають простими — такими, що складаються з невеликої кількості елементів, з'єднаних однозначними зв'язками, і складними — такими, що складаються з великої кількості різнорідних елементів, які взаємодіють по-різному. Для багатьох складних систем характерна ієрархічність — системи поєднуються одна з одною в ієрархічні структури з утворенням систем вищого рівня. *Приклад*: атоми, які (спрощено) можна розглядати як системи елементарних частинок (протонів, нейронів та електронів), поєднуються у системи вищого порядку — молекули; проте елементарні частинки, у свою чергу, утворені кварками, що характеризуються не лише масою й зарядом (дробовим і таким, що дорівнює $1/3$), але й такими характеристиками, як «дивакуватість», «чарівність», «краса».

Аналіз біологічних систем дозволяє виділити ієрархічні рівні їх організації.

Молекулярний рівень організації живих організмів полягає в тому, що в основі всіх фізіологічних процесів у живих організмах: травлення, дихання, передання спадкової інформації — лежать структурні і функціональні особливості молекул, з яких вони побудовані.

На **клітинному рівні** також спостерігається однотипність живих організмів: клітина в них є основною елементарною структурною та функціональною одиницею. У всіх організмів тільки на клітинному рівні можливі біосинтез і реалізація спадкової інформації, процеси перетворення речовин і енергії. Клітинний рівень організації в одноклітинних збігається з рівнем організму. Згідно з науковими припущеннями, в історії життя на планеті Земля був період (перша половина архейської ери), коли всі організми перебували на цьому рівні організації. З таких організмів формувалися всі види, екосистеми і біосфера в цілому.

Тканинно-органний рівень включає тканину і орган. Тканина як сукупність клітин (подібних за будовою, походженням, функціями) і міжклітинної речовини виконує в організмі певні функції. Тканинний рівень виник разом з появою багатоклітинних тварин і рослин, які мали диференційовані тканини. У багатоклітинних організмів він розвивається у період онтогенезу (*пригадайте*, що таке онтогенез). Велика подібність між усіма організмами зберігається на тканинному рівні. Різні тканини, що спільно функціонують, утворюють органи. До складу органів усіх багатоклітинних тварин входить лише *чотири* основних типи тканин, а органів багатоклітинних рослин — *п'ять* основних типів тканин.

На **організмовому (онтогенетичному) рівні** спостерігається найбільша різноманітність форм життя. Нині на Землі понад мільйон видів тварин та близько півмільйона видів рослин. **Організм** як ціле — це особина, яка є елементарною одиницею життя. Поза особинами у природі життя не існує. На рівні організму відбуваються процеси онтогенезу, тому цей рівень називають також онтогенетичним.

Організми одного виду живуть у складі постійних груп організмів (популяцій), що займають певну територію поширення, мають спільне походження та є більш-менш відмежовані від інших груп особин того ж виду. Відповідно, виділяють **надорганізменні** рівні життя та методи їх дослідження.

Видовий (популяційно-видовий) рівень організації життя включає групи організмів одного виду (популяції). **Вид** — це сукупність близькоспоріднених організмів, які характеризуються певними, тільки їм властивими морфологічними та еколого-географічними особливостями; вільно схрещуються і дають плодюче потомство; пристосовані до певних умов життя. Вид — єдина основна класифікаційна одиниця систематики, яка реально існує в природі. Розкриття особливостей видоутворення становить одну з найактуальніших теоретичних і практичних проблем біології.

Екосистемний (біоценотичний) рівень організації життя — це історично сформовані стійкі угруповання популяцій різних видів, що пов'язані між собою і з навколишньою неживою природою обміном речовин, енергії та інформації. Це елементарні системи, в яких відбувається зумовлений життєдіяльністю організмів колообіг речовин і енергії в біотичній (жива природа) та абіотичній (нежива природа) частинах екосистем. Екосистеми утворюють біосферу і зумовлюють усі процеси, що відбуваються в ній.

Біосферний рівень організації життя розкриває власний біологічний колообіг речовин і єдиний потік енергії, які забезпечують функціонування біосфери як цілісної системи.



Назвіть властивості живого.

Які є рівні організації життя?

Наведіть приклади впливу біології на життя людини і суспільства.

Обговоріть у групах



Наведіть приклади наявності властивостей живого в неживих об'єктів (природних або штучних, створених людиною).

Методи біологічних досліджень



Запам'ятайте терміни: методи: описовий, порівняльний, історичний, експериментальний, метод моделювання, метод математичної статистики

Що таке наука

Поняттю «живе» і його фундаментальним відмінностям від «неживого» йшлося в попередній темі. Тепер необхідно з'ясувати, що ж таке «наука». Філософський словник визначає її як «особливий вид пізнавальної діяльності, спрямованої на вироблення об'єктивних, системно організованих та обґрунтованих знань про світ».

Опорні слова тут «об'єктивність», «системна організованість» й «обґрунтованість». «Науковість» характеризує не простий набір відомих нам фактів про навколишній світ, а методи (способи) роботи з ним.

У кожній науці є свої методологічні особливості, але в цілому для природничих наук, таких як фізика, хімія та біологія, характерна така форма наукового методу.

Перший етап — збір інформації та формулювання проблеми. На цьому етапі відбираються спостереження, які потім будуть проаналізовані й осмислені, а також формулюється проблема, ставиться запитання «чому?», «як?» тощо.

Спостереження, що задовольняють умову відтворюваності чи повторюваності, стають науковими фактами. Науковий факт обов'язково має складатися з двох частин: опису того, що можна спостерігати за певних умов, та умов проведення спостереження. Гранична точність — найважливіша відмінність наукових тверджень від роздумів так званої «побутової свідомості», яка тяжіє до не виправданих узагальнень. Іноді в наукових і особливо в науково-популярних текстах описи умов спостереження можуть опускатися з граматичних міркувань (щоб текст не був надто обтяженим), але їх завжди мають на увазі.

Другий етап — формулювання гіпотези, розумного припущення, яке пояснює спостережувані факти. Бажано, щоб ця гіпотеза відповідала критерію, сформульованому англійським філософом XIV ст. Вільямом Оккамом (так зване «лезо Оккама»). Стосовно правил наукового дослідження цей принцип формулюється так: обираючи з кількох гіпотез, які пояснюють якесь явище, слід починати з найпростішої, і тільки переконавшись у тому, що вона «не працює», переходити до більш складної, повторюючи цю процедуру до того часу, доки не буде знайдене найпростіше, але водночас задовільне пояснення.

Третій етап — експериментальна перевірка гіпотези. Зазвичай під час цієї перевірки виявляються нові факти чи закономірності, що вимагають уточнення робочої гіпотези, і як наслідок виникає необхідність проводити нові експерименти.

Такий цикл «гіпотеза — експеримент — уточнення гіпотези» повторюється кілька разів (дуже часто кілька десятків і сотень разів). У результаті з гіпотез викристалізується теорія — система знань, яка має силу прогнозу щодо будь-якого явища чи класу явищ (теорія еволюції, теорія електролітичної дисоціації, теорія відносності та ін.).

Приблизно за такою схемою — від фактів до гіпотез і від гіпотез через численні експериментальні перевірки до теорії — розвиваються всі природничі науки. У гуманітарних наук своя специфіка, проте система незалежних доказів є і там.

Теорія — сукупність умовиводів, яка об'єктивно відображає існуючі відношення і зв'язки між явищами. Теорії формулюються, розробляються і перевіряються відповідно до наукового методу. Істинність теорії перевіряється як прямими експериментами, так і (якщо прямий експеримент з якихось причин неможливий) за наявності сили прогнозу — здатності теорії прогнозувати невідомі/непомічені раніше явища. Сутність теорії полягає в тому, щоб на підставі аналізу подій, що відбулися, мати можливість спрогнозувати, що відбуватиметься в майбутньому при дотриманні певних умов, а також створення бажаного майбутнього через технології.

Ми підходимо ще до одного критерію науковості. Наукова гіпотеза, не кажучи вже про теорії, має відповідати принципу фальсифікованості — заперечуваності. Тобто в принципі має існувати експеримент, який може цю теорію заперечити. (Наприклад, теорія віднос-

ності Ейнштейна базується на твердженні про те, що жоден матеріальний об'єкт Всесвіту, чи то хвиля, чи частинка, не може рухатися зі швидкістю більшою, ніж швидкість світла; якщо такий об'єкт буде виявлений, то теорія буде заперечена чи потребуватиме ґрунтовного доопрацювання — таким чином, теорія принципово може бути запереченою.) Окрім того, добра теорія має не лише пояснювати наявні факти, але й передбачати ще не відкриті закономірності (мати силу прогнозу).

Будь-якій освіченій людині важливо розуміти, де лежить межа між наукою й іншими методами пізнання й інтерпретації доволішньої дійсності й уміти розрізняти науку, ненауку та псевдонауку.

Ненаукою є будь-яка форма пізнання, що не задовольняє одному чи кільком критеріям науковості». Мистецтво — не наука, філософія — не наука. Проте це не применшує їх беззаперечної цінності для людства. Ненаука буває прекрасною, повчальною, натхненною. Науковий метод — це не єдина можлива форма взаємодії розуму з навколишнім світом.

Псевдонаука — це ненаука, яка вдає, що вона — наука. Причому найчастіше ця вдаваність настільки успішна, що неспеціалісту буває складно виявити підступ. Проте є критерії, які дозволяють доволі однозначно розділити науку і псевдонауку.

Характерними відмітними рисами псевдонаукових теорій є:

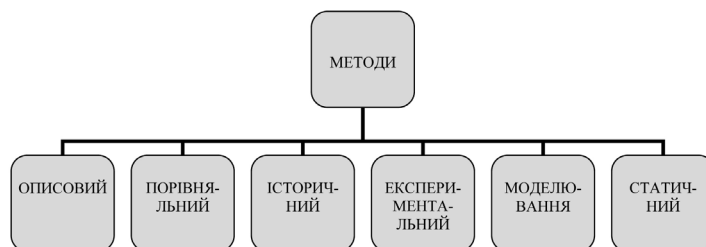
- *претензія на універсальність* — теорія претендує не менше ніж на пояснення створення всього світу;
- *ігнорування чи викривлення фактів*, таких, що автору теорії відомі, але суперечать його побудові;
- *нефальсифікованість*, тобто неможливість поставити експеримент (хоча б подумки), один із принципово можливих результатів якого суперечив би даній теорії;
- *відмова від спроб звірити теоретичні викладки з результатами спостережень за наявністю такої можливості*. Заміна перевірок апеляціями до «інтуїції», «здорового глузду» чи «авторитетної думки»;
- використання на основі теорії неправдивих даних (тобто не підтверджених кількома незалежними експериментами (дослідниками)).

Таким чином, псевдонаука ігнорує найважливіші елементи наукового методу — експериментальну перевірку й уточнення гіпотези, виправлення помилок. Відсутність такого зворотного зв'язку позбавляє псевдонауку зв'язку з об'єктом дослідження і перетворює її у процес, якому притаманне накопичування помилок.

Але в жодному випадку не слід плутати «псевдонауку» з «помилковою наукою». Висування помилкових гіпотез та їх перевірка — нормальний етап розвитку будь-якої науки. Вада псевдонауки не в якості її гіпотез, а у відмові від їх критичного осмислення, у відмові від наукового методу.

Методи біологічних досліджень

До *найпоширеніших методів біологічних досліджень* належать: описовий, порівняльний, історичний, експериментальний, моделювання, статичний (мал. 2).



Мал. 2. Методи біологічних досліджень

Завдяки *описовому методу* можна навчитися збирати фактичний матеріал, описувати його. *Порівняльний метод* доповнює описовий. Він дає змогу шляхом зіставлення виявляти подібність і відмінність ознак, вивчати їх. Оволодіння *історичним методом* дослідження дає можливість з'ясувати закономірності розвитку окремих систем органів, їхні структури, функції тощо. Застосування *експериментального методу* під час проведення лабораторних і практичних робіт забезпечує більш глибоке проникнення у сутність явища. Вищою формою експерименту є *моделювання* досліджуваних процесів. Особливе місце посідає *статистичний метод*, який використовується під час математичної обробки результатів спостережень, експериментів. Він дає змогу перевірити ступінь вірогідності отриманих результатів та правильно їх узагальнити. Застосування методів математичної статистики в біології сприяє її перетворенню з науки описової на точну науку, яка ґрунтується на математичному аналізі одержаних даних.

Оволодівши переліченими методами, ви набудете практично орієнтованих знань, що втілюються через уміння їх застосовувати, оперувати ними.



1. Назвіть завдання сучасної біології.
2. Опишіть методи біологічних досліджень (описовий, порівняльний, експериментальний, статистичний, моделювання).

Обговоріть у групах



Чим наукова гіпотеза відрізняється від прикмети («розсипати сіль — до нещастя», «павуки — до грошей», «миша — до переїзду»)?

Спадковість

Лабораторні дослідження

Вивчення форм мінливості у рослин і тварин. Моделі будови та розподілу хромосом та виникнення хромосомних мутацій.

Практичні роботи

3. Складання схем схрещування.

Проект

Складання власного родоводу та демонстрація успадкування певних ознак (за вибором учня).

Основні терміни та поняття: мейоз, алель, генотип, фенотип, домінантний та рецесивний алелі, гомозигота, гетерозигота, мутація, мутаген, родовід

Нестатеве та статеве розмноження



Запам'ятайте терміни: нестатеве розмноження, статеве розмноження, регенерація

Розмноження — фундаментальна властивість живих організмів, що забезпечує неперервність та спадковість життя. Існують дві основні форми розмноження організмів — **нестатеве та статеве**.

Нестатеве розмноження

Нестатеве розмноження здійснюється за допомогою соматичних (від грец. *сома* — тіло) клітин організму. Таким чином, унаслідок нестатевого розмноження нащадок повністю успадковує генотип батьківського організму. Даний тип розмноження є більш вигідним у стабільних умовах середовища, оскільки дозволяє зберігати та відтворювати вдалі комбінації генів.

Нестатеве розмноження характерне як для одноклітинних, так і для багатоклітинних організмів. Прикладами нестатевого розмноження є поділ клітин, споруутворення, брунькування, вегетативне розмноження, поліембріонія та партеногенез

Поділ клітин характерний як для прокаріотичних, так і для еукаріотичних організмів. Поділу у прокаріот передують реплікація кільцевої молекули ДНК. Подібним чином відбувається розмноження також деяких органел еукаріотичних клітин. Поділ еукаріотичної клітини відбувається шляхом мітозу. Спочатку ділиться ядро клітини, потім — її цитоплазма. Як правило, відбувається рівномірний розподіл органел материнської клітини між дочірніми. Органела, що існує в єдиному екземплярі, переходить до однієї з дочірніх клітин, а в іншій утворюється нова.

Брунькування — це форма нестатевого розмноження, за якої нова особина утворюється у вигляді виросту (бруньки) на тілі материнської особини, а згодом відділяється від неї, утворюючи самостійний, ідентичний материнському, організм. Брунькування притаманне як одно-, так і багатоклітинним організмам. У деяких тварин (наприклад, гідроїдні поліпи) брунькування проходить не до кінця. В результаті цього утворюються колонії організмів.

Вегетативне розмноження здійснюється за допомогою відділення від організму окремих фрагментів та подальшого їх розвитку у самостійну особину. Цей тип розмноження характерний переважно для рослин. Вегетативне розмноження може здійснюватися як частками талому (нижчі рослини, гриби), так і за допомогою вегетативних органів, їх фрагментів або спеціально призначених видозмін (вищі рослини). Вегетативне розмноження широко використовується людиною, оскільки дозволяє зберегти та передати корисні властивості цінних сортів культурних рослин.

Регенерація — здатність організму відновлювати втрачені або ушкоджені частини, а також відтворювати з частин цілі особини. Це явище характерне як для тварин, так і для рослин. Прикладами регенерації є загоєння ран, відновлення втрачених кінцівок, заміна пошкоджених клітин.

Деяким тваринам властива *автономія* — фізіологічна захисна реакція, що полягає у навмисному відділенні від себе частини тіла в умовах небезпеки (як правило, з метою втечі від

ворога). Восьминоги здатні відділяти щупальця, ящірки — хвости, деякі раки та пауки — кінцівки (клешні). Відновлення втрачених органів відбувається шляхом регенерації.

Регенерація у тваринному організмі — комплексний процес, що включає діяльність різних систем органів, насамперед нервової та імунної, гормонів та інших гуморальних факторів, взаємодії між клітинами та тканинами. Клітини, що здійснюють цей процес, перебувають на різному рівні диференціації — від стовбурових клітин до спеціалізованих клітин епітелію та сполучної тканини. Здатність до регенерації може регулюватися також спадковими чинниками; зазвичай в тварин з вищим рівнем організації вона значно нижча порівняно з простішими тваринами (дошовий черв'як відновлює половину тіла, ящірка — хвіст або кінцівку, ссавці ж не здатні регенерувати навіть пальця).

Регенерація у рослин — важливий фактор розмноження та підтримання життєдіяльності. В її основі лежить діяльність твірної тканини, однак у деяких випадках може відновлюватися мітотична активність вже диференційованих тканин. Шляхом численних експериментів було доведено, що будь-яка неспеціалізована клітина рослини *totipotентна*, тобто володіє здатністю диференціюватися в будь-яку спеціалізовану клітину.

Значення нестатевого розмноження полягає у можливості швидкого і значного підвищення чисельності ідентичних батьківським особин. Цю властивість, зокрема, широко використовує людина у сільському господарстві. Однак еволюційно через часті зміни умов середовища нестатеве розмноження значно поступається статевому.

Статеве розмноження

Біологічні системи існують у постійній взаємодії із зовнішнім середовищем, що зазнає постійних змін. Для того щоб відповідати йому, організми також змушені постійно змінюватися, пристосовуватися. Безстатеве розмноження (окремим випадком якого є клітинне ділення) дає перевагу в стабільних умовах, дозволяючи особині із вдалою комбінацією генів залишити безліч нащадків з ідентичним геномом, але не годиться для умов, що змінюються. Тут перевагу одержує статеве розмноження з його «перетасуванням» генів, узятих від двох різних особин. Певні процеси обміну генетичною інформацією є вже в прокаріот, але статеве розмноження «у чистому вигляді» стає можливим тільки в еукаріотичних організмах.

За наявності переконливої комбінації генів батьківські особини утворюють нащадків, які відрізняються від них самим непередбаченим способом, однак перетасування генів у процесі статевого розмноження сприяють виживанню виду при зміні умов середовища. Якщо батьківська особина залишає багато нащадків із найрізноманітнішими комбінаціями генів, існує більше шансів на те, що хоча б один нащадок виявиться добре пристосованим для майбутніх життєвих обставин, якими б вони не були.

У частини організмів статеве розмноження (або чергування статевого та нестатевого розмноження) пов'язане з формуванням різних життєвих форм на певних стадіях життєвого циклу. Такий розвиток називають непрямым розвитком (розвитком з перетворенням, або метаморфозом). Він дозволяє «розвести» різні стадії життєвого циклу у просторі, щоб зменшити конкуренцію між личинками та дорослими особинами (унікнути конфлікту «батьків і дітей»), а також дає змогу пристосуватися до певних функцій. Так, в багатьох прикріплених чи малорухомих організмів (наприклад, двостулкові молюски, рачки-балаюси) личинкові стадії виконують функцію розселення.



1. Порівняйте значення нестатевого та статевого розмноження.
2. Наведіть приклади для кожної з форм розмноження.

Обговоріть у групах



1. Чому здатність до регенерації в тварин з високим рівнем організації значно нижча порівняно з простішими тваринами?
2. Як можна змодельовати вигідність перекомбінації генів для нащадків за умов мінливого середовища?

Клітинні основи успадкування. Мейоз. Утворення статевих клітин



Запам'ятайте терміни: мейоз, гаметогенез, кросинговер, оогенез, сперматогенез

Мейоз

У статевому розмноженні беруть участь спеціалізовані **статеві клітини**, кожна з яких несе одинарний (гаплоїдний) набір хромосом. Зливаючись, ці клітини формують диплоїдну **зиготу**, що дає початок новому еукаріотичному організму.

Статеві клітини багатоклітинних еукаріот формуються в результаті **мейозу** (від грец. *мейозіс* — зменшення) — особливої форми поділу клітин, яка відбувається на певних етапах життєвого циклу організмів, яким властиве статеве розмноження, результатом якого є зменшення удвічі кількості хромосом у клітині (однієї клітини з диплоїдним каріотипом виходить чотири клітини з гаплоїдним каріотипом) та утворення клітин із різною спадковою інформацією.

У тварин шляхом мейозу утворюються статеві клітини (гамети) — жіночі (яйцеклітини) та чоловічі (сперматозоїди). Дозрівання статевих клітин (гамет) включає два послідовні поділи: перший — типовий мейоз, другий — подібний до мітозу.

Мейоз складається із двох послідовних поділів із короткою інтерфазою між ними (мал. 3).

Перший мейотичний поділ. Перед першим поділом, як і перед мітозом, відбувається реплікація ДНК з подвоєнням хромосом.

— **Профаза I** — профаза першого ділення дуже складна. Гомологічні хромосоми підходять дуже близько одна до одної. Особливими білковими нитками з потовщеннями на кінцях вони ніби пристьобуються одна до одної за типом «блискавки». Цей стан називається **кон'югацією** (від лат. *кон'югаціон* — з'єднання), яка відбувається в тих місцях ДНК, де ще не завершилася реплікація і подвійна спіраль дещо розкручена. У з'єднаному стані хромосоми перебувають досить довго (у людини близько тижня). Внаслідок кон'югації хромосоми можуть обмінятися ділянками. Такий обмін називають **кросинговером** (від англ. *кросинговер* — перехрестя). Після кросинговеру кожна хромосома поєднує гени, які містилися в різних гомологічних хромосомах. Наприкінці профазы до центромер хромосом приєднується веретено поділу і вони починають розходитися центромерними ділянками до різних полюсів поділу, залишаючись зчепленими в місцях перехресту.

— **Метафаза I** — пари гомологічних хромосом розташовуються по екватору клітини.

— **Анафаза I** — мікротрубочки скорочуються, пари двохроматидних хромосом діляться й хромосоми розходяться до полюсів (з кожної пари гомологічних хромосом одна рухається до одного полюса, а інша — до іншого). Важливо відзначити, що через кон'югацію хромосом у профазі I до полюсів розходяться цілі хромосоми, що складаються із двох дочірніх *хроматид* кожна, а не окремі *хроматиди*, як у мітозі.

— **Телофаза I** — хромосоми деспіралізуються і на незначний період утворюється ядерна оболонка.

Другий поділ мейозу відбувається безпосередньо за першим, без вираженої інтерфазы, **перед другим поділом не відбувається реплікації ДНК**. Другий поділ відбувається аналогічно до мітозу.

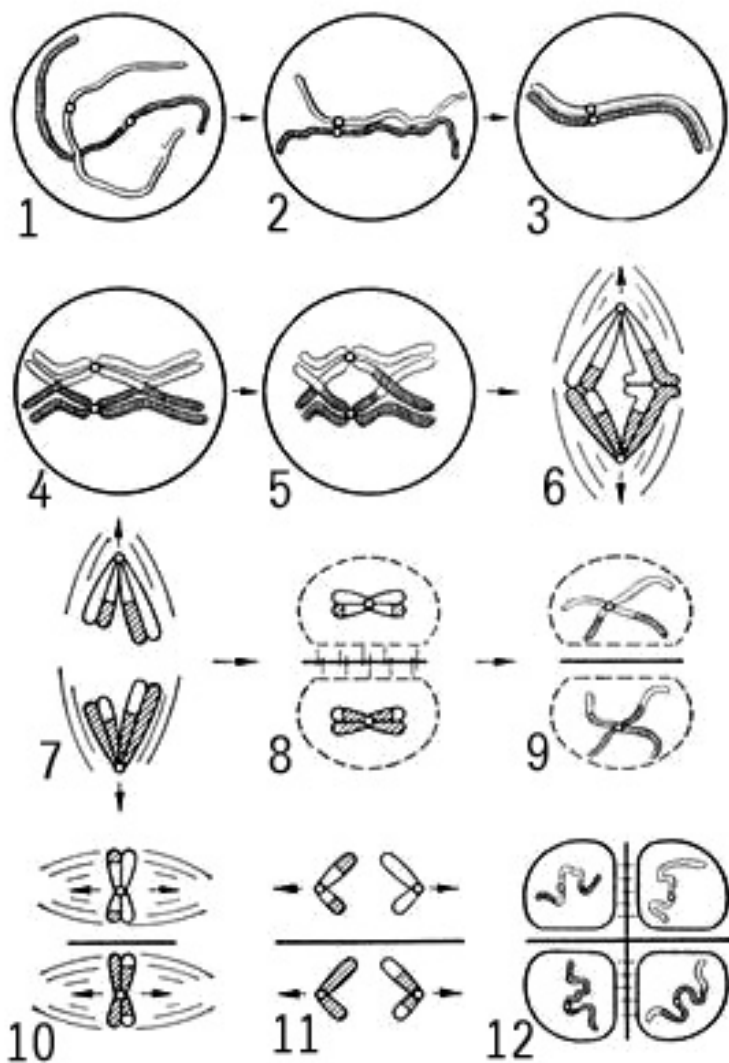
— **Профаза II** — двохроматидні хромосоми ущільнюються, руйнується ядерна оболонка, ділиться клітинний центр, утворюється веретено поділу.

— **Метафаза II** — одиночні хромосоми, які складаються із двох хроматид кожна, розташовуються на екваторі клітини в одній площині, утворюючи *метафазну пластинку*.

— **Анафаза II** — хромосоми поділяються і хроматиди розходяться до різних полюсів.

— **Телофаза II** — хромосоми деспіралізуються (розкручуються), зникає веретено поділу й формується ядерна оболонка, фаза завершується поділом цитоплазми.

Отже, після двох послідовних мейотичних поділів диплоїдної материнської клітини утворюються чотири гаплоїдні дочірні клітини, які можуть відрізнитись за набором спадкової інформації.



Мал. 3. Схема мейозу: 1 – 5 – профаза I; 6 – метафаза I; 7 – анафаза I; 8 – телофаза I; 9 – інтеркінез; 10 – метафаза II; 11 – анафаза II; 12 – телофаза II. Одна з двох гомологічних хромосом заштрихована, інша – біла. Обмін білими й заштрихованими ділянками хромосом – результат кросинговеру. Маленькі білі кружальця – центромери, велике коло – контур ядра. У метафазі й анафазі обох ділень стрілками показаний напрямок розтягування й руху хромосом за допомогою ниток веретена поділу.

Біологічне значення мейозу полягає в тому, що він забезпечує:

- сталість каріотипу видів, які розмножуються статевим способом (статеві клітини мають половинний (n – гаплоїдний) набір хромосом, який під час запліднення відновлюється і стає повним ($2n$ – диплоїдним) набором.
- спадкову мінливість організмів, джерелом якої є кросинговер (перехрест хромосом), що відбувається в профазі I, результатом якого є обмін ділянками гомологічних хромосом; непередбачуване розходження окремих гомологічних хромосом до полюсів клітини в анафазі I, що сприяє утворенню дочірніх клітин зі спадковою інформацією, відмінною від материнської клітини.

Порівняння мітозу й мейозу

Властивості	Мітоз	Мейоз
У яких клітинах відбувається поділ	У соматичних	У клітинах-попередниках статевих клітин
Результат процесу	Дві диплоїдні клітини ідентичні материнській	Чотири гаплоїдні клітини
Кількість поділів	Один	Два з короткою інтерфазою між ними
Біологічне значення	Ріст і розвиток організмів	Гаметогенез, статеве розмноження

Дві форми клітинного поділу, взаємодоповнюючи одна одну, забезпечують, з одного боку, ріст і розвиток багатоклітинних організмів (мітоз), а з іншого — можливість їхнього статевого розмноження (мейоз). Мейоз забезпечує сталість числа хромосом у поколіннях — інакше кажучи, сталість видового каріотипу. Порушення ходу мейозу призводять до виникнення хромосомних аномалій, більшість із яких є летальними, а інші викликають важкі порушення (синдром Дауна, Едвардса й інші).

Гаметогенез

Слабко диференційовані гаплоїдні клітини, що вийшли в результаті мейозу, дозрівають у ході **гаметогенезу**, перетворюючись у спеціалізовані статеві клітини. У тварин це будуть дрібні рухливі сперматозоїди (**сперматогенез**) і великі малорухомі яйцеклітини (**овогенез** або **оогенез**). Формування й дозрівання статевих клітин у тваринних і вищих рослин відбувається в спеціалізованих статевих органах.

Яйцеклітини — жіночі нерухомі гамети. Це клітини великого розміру, вкриті захисними оболонками. Містять запас поживних речовин (жовток). Розміри яйцеклітин визначаються кількістю жовтка у цитоплазмі. Яйцеклітини ссавців, як правило, дрібні (50-180 мкм у діаметрі). Діаметри яйцеклітин з великою кількістю жовтка, зокрема, пташиних, можуть досягати декількох сантиметрів.

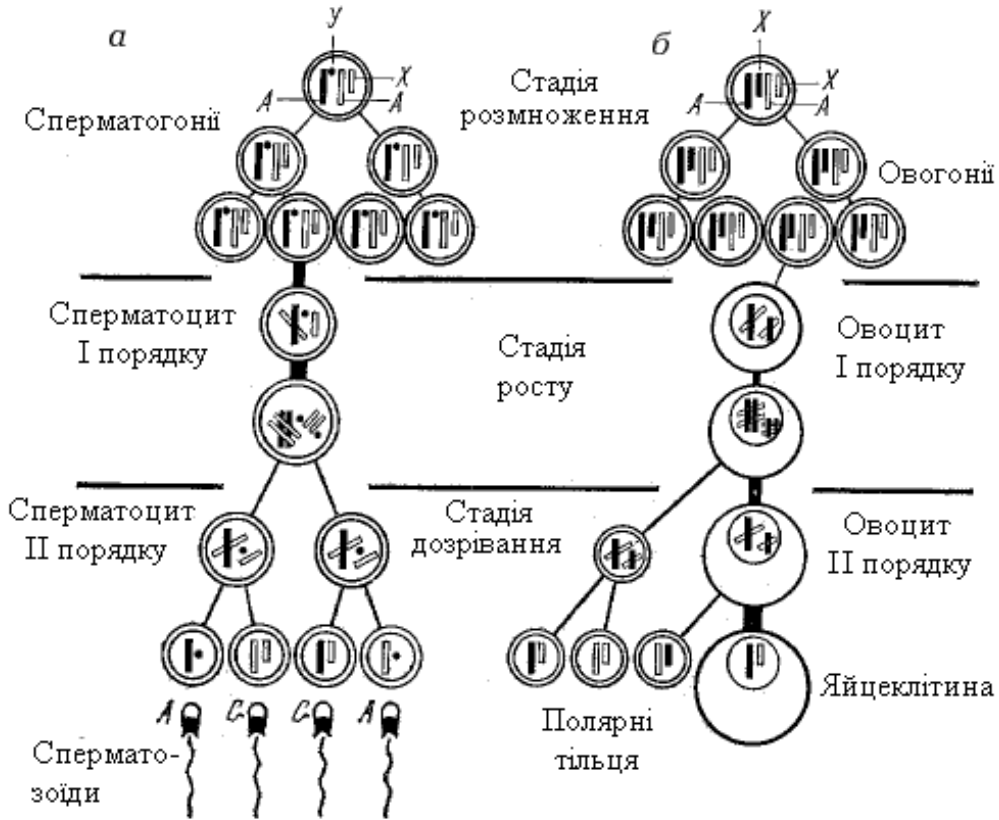
Чоловічі гамети, на відміну від жіночих, значно дрібніші за розмірами і рухомі. **Сперматозоїдами** називаються ті з них, що мають джгутики і здатні до активного руху. Вони характерні для зелених водоростей, вищих спорових рослин та більшості тварин. У решти організмів чоловічі гамети не здатні до активного руху і називаються **сперміями**.

Сперматозоїди ссавців та людини складаються з голівки, шийки та хвоста (мал. 4). Голівка сперматозоїда містить малу кількість цитоплазми та ядро. На кінчику голівки знаходиться акросома — подібна до лізосоми органела, що містить ферменти, здатні розчинити стінку яйцеклітини. Мембранні білки голівки сперматозоїда виконують функції спрямування руху сперматозоїда та прикріплення його до оболонки яйцеклітини. Шийка сперматозоїда містить цитоскелет основи джгутика, а також гігантську мітохондрію спіральної форми, що виробляє АТФ, потрібну для забезпечення руху джгутика. Хвіст (джгутик) здійснює рух сперматозоїда.



Мал. 4. Будова сперматозоїда

Процес формування статевих клітин називається **гаметогенезом** (мал. 5). Формування чоловічих гамет називається сперматогенезом, жіночих — овогенезом. Гаметогенез включає стадії розмноження, росту, дозрівання та формування. Попередниками гамет є диплоїдні первинні статеві клітини.



Мал. 5. Утворення статевих клітин

На стадії **розмноження** чоловічі та жіночі первинні статеві клітини (сперматогонії та овогонії) проходять низку мітозів.

Стадія **росту** супроводжується збільшенням клітин у розмірах. На цій стадії попередники яйцеклітин та сперматозоїдів називаються відповідно овоцитами та сперматоцитами I порядку. Поділ під час стадії росту не відбувається, овоцити та сперматоцити I порядку є диплоїдними клітинами. Формування сперматоцитів I порядку відбувається, як і всі інші стадії сперматогенезу, після проходження пубертатного періоду (статевого дозрівання в *тінейджерському* віці). Формування овоцитів I порядку завершується ще до моменту народження жіночої особини.

Під час стадії **дозрівання** клітини проходять два мейотичних поділи. На цій стадії існують суттєві розбіжності між сперматогенезом та овогенезом. Сперматоцити I порядку після першого мейозу утворюють два сперматоцити II порядку, які, в свою чергу, після другого мейотичного поділу, формують чотири ідентичні гаплоїдні сперматозоїди. Овоцити I порядку діляться на овоцит II порядку та первинне полярне тільце — клітину з невеликою кількістю цитоплазми. Внаслідок другого мейотичного поділу овогенезу утворюються яйцеклітина та три полярні тільця. Утворення полярних тілець дозволяє відвести зайвий

генетичний матеріал, сконцентрувавши всі органели та запас поживних речовин в одній великій гаплоїдній яйцеклітині.

Статеві клітини у тварин формуються у спеціалізованих статевих залозах — **гонадах**. Види, особини яких мають гонади лише одного виду (чоловічі або жіночі), називаються роздільностатевими. Діяльність гонад, опосередкована статевими гормонами, визначає формування **вторинних статевих ознак** — комплексу особливостей, якими, окрім первинних статевих ознак (статевих органів), відрізняються особини різних статей. До вторинних статевих ознак може належати забарвлення, морфологічні особливості тіла, різниця в тембрі голосу тощо. Вторинні статеві ознаки можуть зберігатися на все життя, як у людини, або лише на шлюбний період (шлюбне забарвлення деяких риб, оперення птахів).

Відмінності чоловічих та жіночих первинних та вторинних статевих ознак зумовлюють характерний для деяких видів **статевий диморфізм** — розбіжність у вигляді особин різних статей.



1. Користуючись малюнком, охарактеризуйте фази мейозу.
2. Чому для статевих клітин необхідним є гаплоїдний набір хромосом?
3. Оцініть біологічне значення мейозу.

Обговоріть у групах



Наведіть приклади та поясніть значення статевого диморфізму в людини. Як підкреслюють (або не підкреслюють) особливості статей у різних культурах?

Зчеплене успадкування. Хромосомне визначення статі



Запам'ятайте терміни: аутосоми, статеві хромосоми,

На початок ХХ століття наука накопичила достатньо даних про хромосоми, щоб остаточно пов'язати закономірності спадковості та їх цитологічні основи. Першим вченим, якому вдалося підтвердити роль хромосом як носіїв спадковості, був Томас Хант Морган. Перші дані своїх досліджень вчений опублікував у 1910 році.

При мейозі до статевих клітин потрапляє гаплоїдний набір хромосом, тобто по одній хромосомі з кожної пари. Генів у кожного організму є набагато більше, ніж хромосом, тому певні гени неминуче опиняться в одній хромосомі і успадковуватимуться залежно одне від одного, тобто **зчеплено**. Такі гени, що містяться в одній хромосомі, утворюють комплекс, що називається *групою зчеплення*. Кількість груп зчеплення у кожному організмі дорівнює загальній хромосом у гаплоїдному наборі.

Явище *кросинговеру* між гомологічними хромосомами під час мейозу є причиною того, що зчеплені гени успадковуються не стовідсотково разом. В процесі кросинговеру хромосоми здійснюють обмін гомологічними ділянками, що дозволяє утворювати нові комбінації алелів. Припустивши, що частота кросинговерів залежить від того, як близько між собою розташовані гени, співробітник Т. Моргана А. Стертевант вивів одиницю відстані між генами. Цю одиницю на честь Т. Моргана було названо морганідою. В даний час використовують більш зручну одиницю — **сантиморган** (сМ), що дорівнює 1% кросинговеру. Відстань між генами використовується в картуванні хромосом (мал. 6).

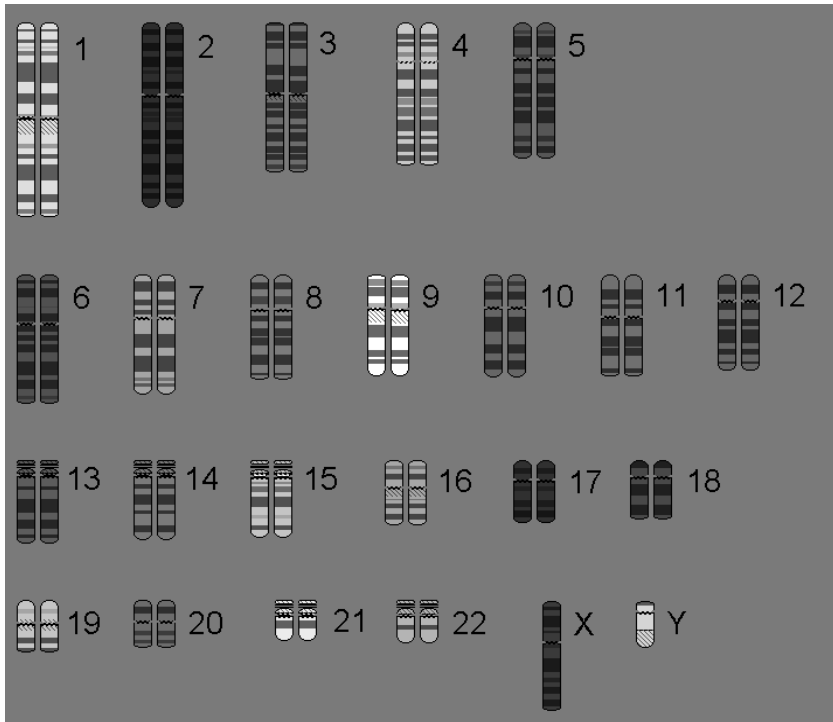


Мал. 6. Карти хромосом дрозофіли

Хромосомне визначення статі

У людини, як і в більшості хребетних, комах та деяких інших організмів стать зумовлена відмінностями в хромосомних наборах особин різної статі.

Диплоїдний набір хромосом кожного організму, що розмножується статевим шляхом, містить аутосомні хромосоми (*аутосоми*, їх набір однаковий у особин різної статі) та статеві хромосоми. У людини, наприклад, за загальної кількості хромосом $2n = 46$, наявні 44 аутосоми та 2 статеві хромосоми (мал. 7). Останні й визначають стать дитини в момент запліднення.



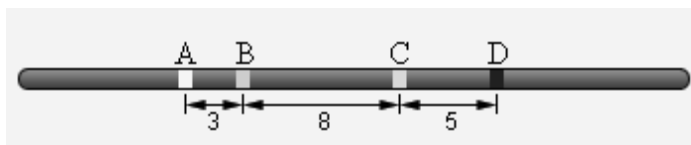
Мал. 7. X- та Y-хромосоми в каріотипі людини

У більшості ссавців (в тому числі й людини), дрозоділи та деяких рослин є два види статевих хромосом: X та Y, набір яких визначає стать. При наявності в каріотипі двох X-хромосом стать особи буде жіночою (гомогаметна стать); X- та Y-хромосоми — чоловічою (гетерогаметна стать). Відповідно, жіночий організм утворює яйцеклітини, що несуть лише один тип статевих хромосом — X. Сперматозоїдів же є два типи — з X- та Y-хромосомами, а отже, стать майбутнього нащадка визначається тим, сперматозоїд якого типу зіллється з яйцеклітиною, а стать дитини повністю залежить від батька.

Особини, каріотип яких з певних причин містить лише пару Y-хромосом, як правило, не виживають, оскільки Y-хромосома не містить деяких наявних в X-хромосомі життєво важливих генів і фактично відповідає лише за розвиток статевих ознак чоловіка. Тим не менше, у X- та Y-хромосом є гомологічна ділянка, що дозволяє їм здійснювати кон'югацію під час мейозу. Гени, що розташовані там, можуть успадковуватися практично як аутосомні.



1. Каріотип чоловіка чи жінки зображений на мал.? Як ви це встановили?
2. Чому дорівнює відстань між генами A і C?



Обговоріть у групах



1. Чи може бути відстань між генами більшою, ніж 100 сМ? В яких випадках?
2. Зробіть модель якоїсь хромосоми людини з паперової стрічки та позначте на ній певні гени, використовуючи інформацію з додаткових джерел.

Методи генетики. Родоводи



Запам'ятайте терміни: спадковість, мінливість, гібридологічний метод, генеалогічний метод, близнюковий метод

Велика різноманітність способів і форм розмноження, притаманних живим організмам, визначається їх умовами проживання та потребами. Через розмноження реалізуються основні завдання, що постають перед біологічними видами у процесі їх еволюційного розвитку — збереження вже існуючих ознак та набуття і закріплення нових. Ці завдання є фундаментальними та універсальними біологічними властивостями організмів. Здатність живих істот до передачі біологічних ознак від одного покоління іншому називається **спадковістю**. Другою універсальною властивістю є **мінливість** — здатність живих організмів набувати нових ознак, або якісно чи кількісно змінювати наявні, у процесі індивідуального розвитку або в ряду поколінь.

Наука, що займається вивченням закономірностей спадковості та мінливості, називається **генетикою**.

Методи генетики

Гібридологічний метод, започаткований під час селекції корисних для людини організмів, полягає у схрещенні організмів з певними ознаками, та аналізу нащадків від схрещення. Для визначення спадкової передачі ознак цей метод розробив та застосував Грегор Мендель, який проводив досліди зі схрещування різних сортів гороху.

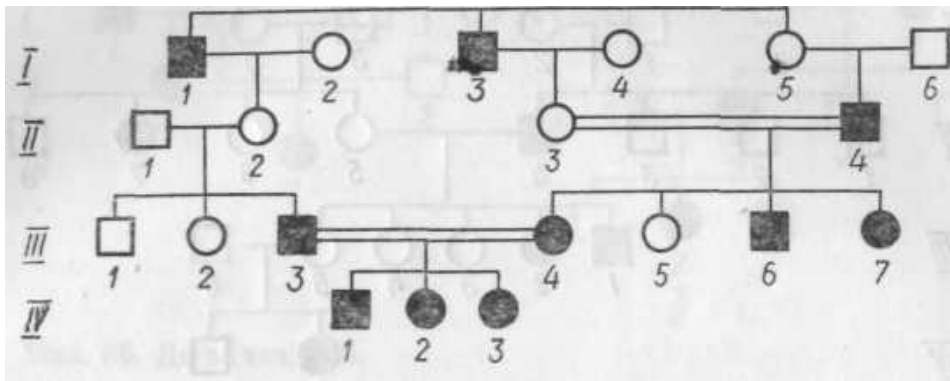
Горох є надзвичайно вдалим об'єктом для генетичних досліджень саме за допомогою гібридологічного методу через те, що він:

- має чітко виражені і різноманітні ознаки, за якими можна проводити дослід;
- розмножується статево, а отже дає можливість поставити схрещування;
- має короткий період вегетації;
- недорогий та зручний у культивуванні.

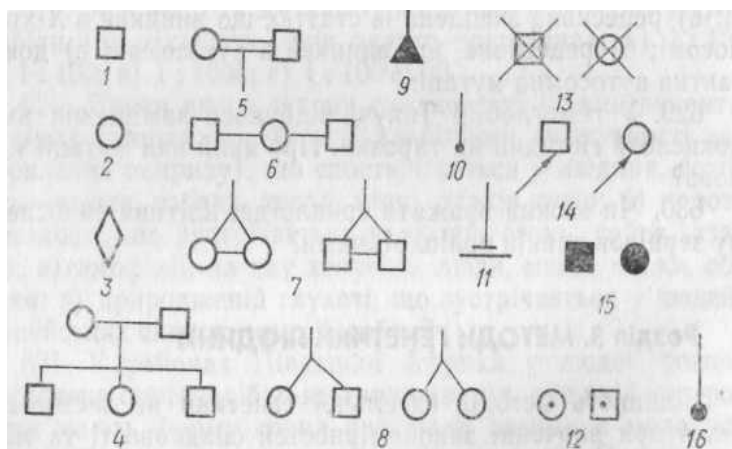
Але не всі організми є придатними для дослідження гібридологічним методом. Особливо це стосується генетичних досліджень людини. Замість нього в генетиці людини (і деяких інших організмів) використовують **генеалогічний метод**, або метод родоводів (мал. 8). Цей метод насамперед використовують у медичній генетиці, оскільки він дозволяє простежити успадкування багатьох генетичних захворювань та встановити ймовірність їх прояву у нащадків. Особа, з якої починається складання родоводу, називається *пробандом*. Особи чоловічої статі у родоводі позначаються квадратом, жіночої — колом. Шлюбні зв'язки та зв'язки між *сібсами* (братами та сестрами) позначаються горизонтальними лініями, зв'язки між предками та нащадками — вертикальними. Осіб, що мають шукану в родоводі ознаку, як правило, виділяють кольором або іншою позначкою.

Ще один метод, який широко застосовується в генетиці людини — **близнюковий метод**. Об'єктом його дослідження є близнюки — монозиготні (справжні близнюки, дуже схожі один на одного) та дизиготні (двійнята, схожі не більше ніж будь-які брати та сестри). Близнюковий метод дозволяє дослідити вплив середовища на формування зовнішніх ознак генетично ідентичних організмів (якими є монозиготні близнюки). Завдяки близнюковому методу було виявлено, наскільки ті чи інші захворювання обумовлені спадково, а також показано генетичну складову у захворюваннях, які вважалися повністю не спадковими (інфекційних, серцево-судинних тощо).

Статистичний метод ґрунтується на аналізі частоти зустрічальності певних ознак в різних групах людей. Він дозволяє оцінити розподіл особин різних генотипів та їх зміни під впливом різноманітних факторів. У медичній генетиці статистичний метод використовується для виявлення, статистичної обробки та картування частоти зустрічальності спадкових захворювань, а також прогнозування ймовірності народження дитини з небажаними генотипами.



А



Б

Мал. 8. Родовід родини, в якій страждають на дальтонізм (А) та позначення на родоводах (Б):
 1 – особа чоловічої статі; 2 – особа жіночої статі; 3 – стать невідома; 4 – шлюб та діти (сибси); 5 – близькоспоріднений шлюб; 6 – двічі в шлюбі; 7 – монозиготні близнюта; 8 – дизиготні близнюта; 9 – викидень; 10 – аборт; 11 – бездітний шлюб; 12 – носій рецесивного гена; 13 – померлий; 14 – пробанд; 15 – хворий.

Цитогенетичний метод використовує як об'єкт дослідження хромосомний набір організму. Для цього з організму беруть деяку кількість клітин, вміщують їх на поживне середовище і стимулюють поділ. З досягненням метафази поділ зупиняють і досліджують структуру та кількість хромосом. Метод має велике значення для таксономії організмів: з його появою стало можливим класифікувати види, що мають однаковий або подібний фенотип і різняться лише за каріотипом. Цитогенетичний метод широко застосовується у медичній генетиці. За його допомогою можна визначити низку геномних та хромосомних мутацій, що ведуть до виникнення спадкових захворювань.

Біохімічний метод використовується для виявлення спадкових захворювань, пов'язаних із порушеннями метаболізму. Важливо вчасно виявляти такі захворювання, оскільки багато з них можна скорегувати за допомогою спеціальної дієти (фенілкетонурія, целіакія) або запобігти їх прояву у майбутньому (цукровий діабет). Великого значення набули методи молекулярної біології, зокрема **секвенування** — визначення послідовності природних біополімерів. Автоматизація цих методів дозволила не тільки показати молекулярні механізми виникнення спадкових захворювань як порушення в окремих послідовностях нуклеотидів ДНК та амінокислот в білках, але й здійснити масштабні проекти з вивчення геномів організмів, найбільш значущим з яких був проект «Геном людини». Ще одним із молекулярно-генетичних методів,

що набули застосування в медичній діагностиці, є метод **полімеразної ланцюгової реакції** (ПЛР), відкритий Керрі Мюллісом. В основу методу ПЛР покладено багаторазове подвоєння певної ділянки ДНК за допомогою специфічних ферментів ДНК-полімераз.

Серед **методів клітинної інженерії** велике значення для генетики має метод клітинних культур. Він дозволяє нагромадити велику кількість соматичних клітин тієї чи іншої тканини організму (насамперед людського) і проводити дослідження каріотипу та генотипу цих клітин.

Методи генетичної інженерії дають змогу проводити маніпуляції з окремими генами або ділянками ДНК. Сучасні технології дозволяють виділяти гени чи групи генів, вводити їх у геноми інших організмів того самого або іншого виду, передаючи таким чином кодовані даним геном ознаки. На цьому методі базується створення трансгенних організмів, що вже зараз мають велике значення для багатьох галузей діяльності людини. Перспективним напрямком генетичної інженерії є генотерапія — внесення змін до геному соматичних клітин людини з метою лікування спадкових захворювань.

Особливості людини як об'єкта генетики

Людина як об'єкт генетичних досліджень має певні особливості, що впливають на вибір методів наукових досліджень. До таких особливостей зокрема належать:

- **Неможливість застосування в генетиці людини гібридологічного методу.** Така ситуація продиктована міркуваннями біоетики і у більшості держав закріплена на законодавчому рівні. Через це основними методами в генетиці людини є генеалогічний, близнюковий, популяційно-генетичний та цитогенетичний.
- **Тривалий час статевого дозрівання і зміни поколінь.** У людини від народження до вступу нащадків у вік розмноження потрібно щонайменше 20-25 років. Таким чином, спостереження за передачею ознак в людській популяції є доволі складним завданням.
- Як правило, у людських сім'ях від однієї пари батьків народжується надто **мала** для статистичних розрахунків **кількість нащадків**. Це суттєво ускладнює підтвердження реалізації закономірностей успадкування.
- **Висока порівняно із наявною в природі виживаність осіб із серйозними відхиленнями від норми**, в тому числі зумовленими спадково. На відміну від диких тварин, в яких особина з відхиленнями, як правило, не виживає та не залишає потомства, у людському суспільстві такі особи можуть вести відносно комфортний спосіб життя і навіть вступати в шлюб. Внаслідок цього спадкові захворювання можуть передаватися наступним поколінням.



1. Які з методів генетичних досліджень вивчають лише одне покоління організмів, а які — обов'язково кілька поколінь?
2. Які з методів генетики використовуються в тваринництві? Чому?

Обговоріть у групах



Як використовується метод полімеразної ланцюгової реакції в медицині?

Успадкування ознак і закони спадковості.

Г. Мендель і закони спадковості



Запам'ятайте терміни: генотип, фенотип, алель, гомозиготність, гетерозиготність, домінуючий алель, рецесивний алель

Досліди Г. Менделя та формулювання законів успадкування ознак

Першим вченим, який відкрив та експериментально підтвердив універсальні закономірності спадковості, був августинський чернець з міста Брно в теперішній Чехії Грегор Мендель. Об'єктом своїх досліджень Мендель обрав горох посівний (*Pisum sativum*).

Схрещуючи між собою рослини гороху із чітко видимими ознаками, дослідник врешті отримав кілька чистих ліній за кожною з цих ознак:

- колір квітів (червоні чи білі);
- колір насіння (жовте чи зелене);
- форма поверхні насіння (гладке чи зморшене);
- висота стебла (високе чи низьке) та ін.

Праці Менделя можна умовно поділити на ті, в яких розглянуто успадкування однієї ознаки, і ті, в яких досліджується успадкування двох чи більше ознак. Спочатку варто ознайомитися з дослідами, що стосуються успадкування однієї ознаки (так зване **моногібридне схрещування**).

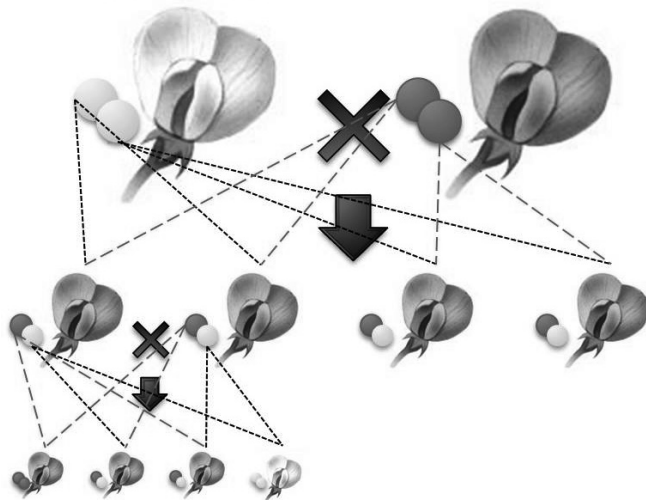
Мендель схрещував між собою рослини гороху з червоними та білими квітами. Спочатку пилок рослин із білими квітами дослідник переніс на приймочки маточок рослин із червоними квітами. Проростивши отримане від цього схрещування насіння, дослідник виявив, що усі рослини (гібриди першого покоління) мали квіти червоного кольору. На основі цих даних учений сформулював першу із відкритих ним закономірностей спадковості, закон одноманітності гібридів першого покоління, яку згодом назвали **першим законом Менделя**:

«У всіх нащадків першого покоління гібридів від схрещування стійких форм, що розрізняються за однією альтернативною ознакою, спостерігається одноманітність за цією ознакою — всі особини першого покоління мають фенотип одного з батьків.»

Отримані у результаті самозапилення гібридів першого покоління рослини (гібриди другого покоління) мали квіти як червоного, так і білого кольору. Далі Мендель повторив дослід, здійснивши зворотне схрещування — переніс пилок рослин із червоними квітами на приймочки маточок рослин із білими квітами. Гібриди першого, так і другого покоління були абсолютно ідентичними гібридам від першого досліду. На основі цього факту Мендель зробив висновок, що ознака кольору квітів передається незалежно від статі. Щобільше, висновки з цього досліду дозволяли спростувати теорії про те, що ознаки майбутнього потомства закладені лише в одній із статевих клітин батьків (яйцеклітині чи сперматозоїді).

Наступним, на що звернув увагу дослідник, було те, що у другому поколінні зустрічалися рослини з білими квітами. Тогочасні уявлення про спадковість стверджували, що ознаки потомства є результатом випадкового змішування ознак батьківського та материнського організмів, а отже, поява рослин, що повністю повторювали ознаки одного з батьків, не вкладалися в ці уявлення. Піддавши гібриди другого покоління математичному аналізу, Мендель виявив, що кількості рослин з червоними та білими квітами завжди співвідносилися як 3:1 (мал. 9). Ця закономірність дала змогу сформулювати закон розщеплення, або, як його ще називають, **другий закон Менделя**:

«Поява у другому гібридному поколінні ознак вихідних форм у співвідношенні 3:1»



Мал. 9. Успадкування ознак

Основні поняття генетики

Закономірності успадкування, досліджені Менделем, явно показували, що ознаки передаються завдяки окремим неподільним «зачаткам ознак». Однак сам учений не міг пояснити природу цих «зачатків». Лише після низки подальших відкриттів та досліджень стало можливим виявити і сформулювати поняття **гена** — елементарної одиниці спадковості.

Сукупність генів однієї клітини або одного організму називається **генотипом**. Сукупність генів гаплоїдного набору хромосом одного виду носить назву **геном**.

Кожний ген кодує певну ознаку організму, однак прояв цієї ознаки залежить від умов навколишнього середовища. Таким чином формується **фенотип** — сукупність зовнішніх, фізичних або хімічних ознак організму, що формується у процесі реалізації її генотипу (та його взаємодії з зовнішнім середовищем).

Гени можуть існувати у декількох структурних станах — **алелях**. Алелі є варіантами одного і того ж гена, що визначають альтернативні прояви однієї і тієї ж ознаки. Наприклад, в дослідах Менделя, описаних вище, ген забарвлення квітки мав два алелі — червоного та білого кольору. У тварин ознакою є забарвлення шерсті, а його різноманітність забезпечується активністю різних алелів та взаємодією між ними. Алельні гени містяться в одній і тій же ділянці гомологічних хромосом. Така ділянка називається **локусом**.

Одночасно у генотипі може знаходитися тільки два алелі одного гена. Стан, коли ці алелі однакові, називається **гомозиготністю**, а коли різні — **гетерозиготністю**. Організм, гетерозиготний за певним алелем, називається **гетерозиготою**.

У дослідах Менделя червоне забарвлення квітів гороху проявляється у всіх гібридів першого покоління, незалежно від присутності у схрещуванні батьківського організму із білим забарвленням квіток. Такий алель отримав назву **домінантного**. Біле забарвлення квітів кодується алелем, що проявляється у фенотипі лише у випадку гомозиготності організму за цим алелем — такий алель називають **рецесивним**. Домінантність та рецесивність та алелів виявляються лише при схрещуванні, тобто при взаємодії одне з одним, вони не є жорстко закріпленими і незмінними властивостями алелів. Організм, гомозиготний за доміантним алелем, називається **домінантною гомозиготою**, за рецесивним — **рецесивною гомозиготою**.

Позначивши доміантний алель гена забарвлення гороху (червоне забарвлення) літерою **A**, а рецесивний алель (біле забарвлення) літерою **a**, можна скласти схему проведених Менделем схрещувань (див. мал. 10).

Як можна помітити, фенотипово червоні квіти, забарвлення яких визначається алелями **AA**, нічим не відрізняються від тих, чиє забарвлення визначене алелями **Aa**. Білі ж квіти мають лише алелі **aa**.

Гамети у результаті мейозу отримують одинарний, гаплоїдний набір хромосом: до гамети потрапляє лише один алель з кожної пари. Ця закономірність була названа **правилом чистоти гамет**.

Грегор Мендель у своїх дослідженнях послуговувався **гібридологічним методом**. Цей метод, як вже зазначалося, ґрунтується на системі схрещувань, що дозволяє виявити і проаналізувати одну (моногібридне схрещування), дві (дигібридне схрещування) або більше (полігібридне схрещування) ознак.

Кожне схрещування можна записати за допомогою спеціальної системи умовних позначень, що дозволяє зробити процес запису більш простим і зручним. Ось деякі елементи такого запису (Таблиця 2).









Таблиця 2

Елементи запису умовних позначень на схемах схрещування

домінантний алель	великі літери латинського алфавіту (A, B, C...)
рецесивний алель	малі літери латинського алфавіту (a, b, c)
батьківські особини	P
гамети	G
гібриди	F
жіноча стать	♀
чоловіча стать	♂

Для гібридів після букви, що їх позначає, у вигляді індексу вказується покоління, до якого вони належать (наприклад, F_1 — гібриди першого покоління).

В 1906 англійським вченим Р. Пеннетом була запропонована зручна форма запису поєднання гамет у схрещуванні, що пізніше отримала назву **решітки Пеннета** (мал. 10). У крайніх комірках по горизонталі записуються гамети однієї з батьківських особин, а по вертикалі — іншої. На перетині ліній, що ведуть з комірок, записують генотипи нащадків.

		♂	
			
		B	b
♀		 BB	 Bb
		 Bb	 bb

Мал. 10. Решітка Пеннета



1. Порівняйте визначення пар термінів: генотип — фенотип, домігантний — рецесивний, гомозигота — гетерозигота, моногібридне — дигібридне схрещування.
2. Які з позначень ще варто додати до схеми схрещування на мал. 10?

Обговоріть у групах



Чи схожі закони Менделя з законами фізики (наприклад, законами Ньютона чи законом Ома)? В чому полягає схожість? відмінність?

Взаємодія алелів. Множинний алелізм



Запам'ятайте терміни: повне домінування, неповне домінування, кодомінування, множинний алелізм

Відхилення від менделівського розщеплення

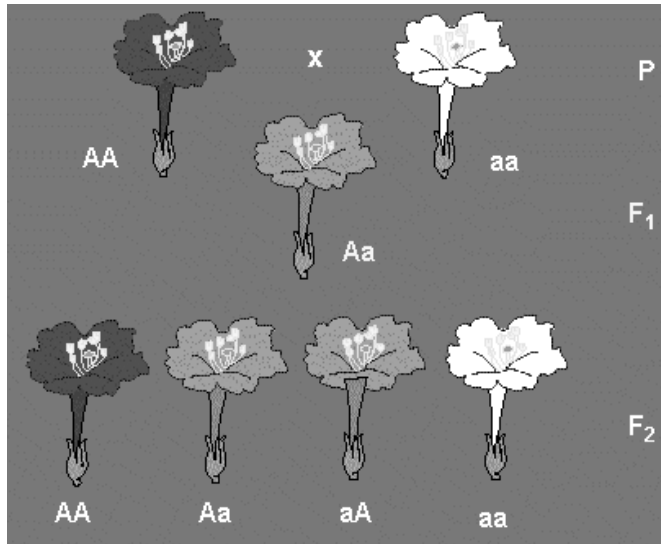
Причини відхилень від менделівського розщеплення у фенотипах потомства полягають не лише у зчепленому успадкуванні генів. Досить часто відхилення від менделівського розщеплення є результатом взаємодії генів між собою. Взаємодіяти, впливаючи на співвідношення фенотипів потомства, можуть як алельні, так і неалельні гени.

Взаємодія алельних генів (алелів одного гена) здебільшого пов'язана з різноманітними варіантами явища домінування. Такими варіантами є повне і неповне домінування та кодомінування.

Повне домінування. Явище повного домінування, за якого домігантний алель повністю пригнічує рецесивний і проявляється у фенотипі, було описане в попередній темі. Цей тип домінування характерний для більшості досліджуваних Г. Менделем ознак гороху (колір квіток, форма та забарвлення насіння та ін.). Багато ознак класичного об'єкту генетичних досліджень, плодової мушки дрозофіли також успадковуються за принципом повного домінування.

Закономірності успадкування, відкриті Г. Менделем, справджуються саме за умови повного домінування.

Неповне домінування. Явище неповного домінування зручно розглядати на прикладі успадкування ознаки забарвлення квіток у деяких рослин. Так, при схрещуванні рослин нічної красуні (*Mirabilis jalapa*) з червоними квітками (домінантна ознака) та білими квітками (рецесивна ознака) всі гібриди першого покоління мають рожеве забарвлення квіток. Потомство від схрещування цих гібридів між собою розщеплюється за фенотипами наступним чином: 25% особин з червоними квітками, 50% — з рожевими та 25% — з білими (мал. 12).



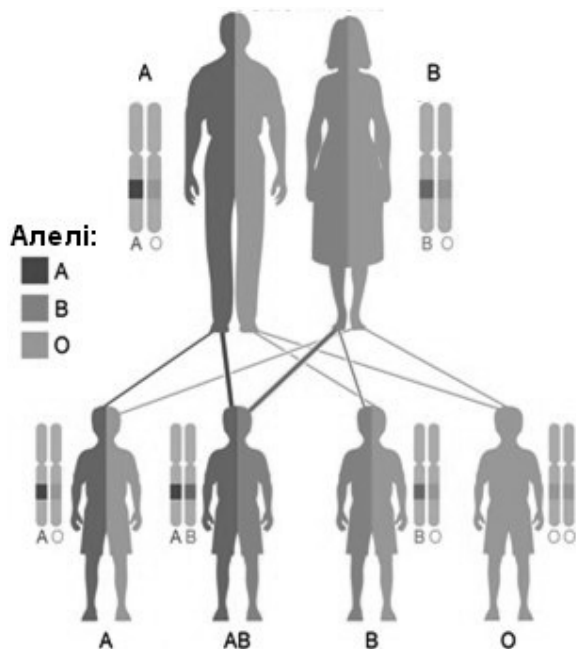
Мал. 11. Успадкування забарвлення квіток у нічної красуні (неповне домінування)

Такі прояви генотипів у нічної красуні зумовлені тим, що домінантний алель A визначає утворення пігменту, що надає квіткам червоного забарвлення; натомість рецесивний ген a несе мутацію, через яку синтез пігменту на певному етапі переривається, пігмент не виробляється і квіти забарвлюються у білий колір. При наявності в генотипі лише однієї дози алеля A виробляється недостатньо пігмента і квіти стають рожевими. Таким чином формується фенотип, проміжний між фенотипами батьків.

Кодомінування, або співдомінування — варіант алельної взаємодії, при якому фенотип в рівній мірі визначається обома алелями, що знаходяться в парі хромосом. Кодомінантними часто є алелі, що визначають забарвлення, наприклад, квіток у рослин чи шерсті у тварин. Однак на відміну від неповного домінування, наслідком кодомінування, як правило, буде плямисте забарвлення.

Успадкування груп крові АВ0 та множинний алелізм

Успадкування груп крові у людини є прикладом кодомінування, але процес визначення груп крові дещо складніший. Ця ознака визначається взаємодією трьох алелів одного і того ж гена — I^A , I^B та i^0 (це явище, коли існує більше, аніж два варіанти алелей конкретного гена, отримало назву **множинний алелізм**), розташованих у довгому плечі 9-ї хромосоми. При цьому алель i^0 є рецесивним, а I^A та I^B — домінантними. Особи з генотипом i^0i^0 матимуть першу, що позначається як I (0), групу крові. У осіб з генотипами I^Ai^0 або I^BI^0 проявлятиметься II (A) група, оскільки алель I^A повністю домінує над алелем i^0 . З цієї ж причини у особи з генотипом I^Bi^0 або I^BI^0 проявлятиметься III (B) група. При наявності ж у 9-й парі хромосом людини одночасно алеля I^A та алеля I^B у фенотипі виникатиме IV (AB) група крові. Це можливо, якщо чоловік та жінка матимуть II та III групу крові і дитина успадкує по домінантному алелю від кожного з батьків (мал. 12).



Мал. 12. Множинний алелізм і успадкування груп крові



1. Наведіть приклади успадкування ознак з повним, неповним та кодомінуванням в людини.
2. На мал. 12 вкажіть гомозигот і гетерозигот, а також випадки взаємодії алелів за принципом повного домінування та кодомінування.
3. Чи завжди співпадають групи крові батьків та дітей?

Обговоріть у групах



За яких фенотипів батьків можна довести батьківство саме через групи крові AB0? Як ще доводять батьківство за допомогою генетичних методів?

Успадкування ознак, пов'язаних зі статевими хромосомами



Запам'ятайте терміни: успадкування, зчеплене зі статтю

Як вже зазначалося, у людини стать визначається відмінностями у наборі статевих хромосом (X та Y-хромосом) у особин різної статі. При наявності в каріотипі двох X-хромосом стать особини буде жіночою; X- та Y-хромосоми — чоловічою. Відповідно, жіночий організм утворює яйцеклітини, що несуть лише один тип статевих хромосом — X. Сперматозоїдів же є двох типів — з X- та Y-хромосомами.

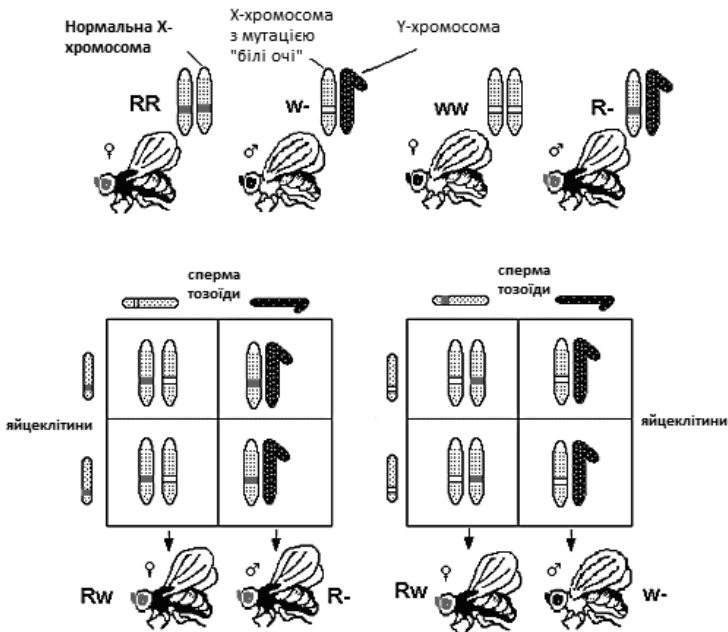
Успадкування зчеплених зі статтю ознак

Під час своїх експериментів над дрозофілами на початку XX століття відомий американський генетик Томас Хант Морган досліджував успадкування різних ознак. Однією з таких ознак є колір очей. У особин дикого типу він червоний (зумовлює його домінуючий алель цього гена). Існує низка мутантних рецесивних алелів цього гена, що визначають різне відмінне від червоного забарвлення очей: пурпурне, яскраво-червоне, оранжеве,

біле та ін. Досліджуючи успадкування цих ознак, Морган провів схрещування самки дикого типу з червоними очима та самця з білими очима. Всі нащадки, як і очікувалося, мали червоні очі. Схрестивши цих нащадків між собою, Морган отримав очікуване менделівське розщеплення: 75% червонооких особин та 25% білооких. Однак у цьому співвідношенні була одна суттєва особливість — ті 25% особин, що мали білі очі, були виключно самцями.

В подальшому Морган здійснив зворотне схрещування білооких самок та червонооких самців. У першому поколінні нащадків учений спостеріг розщеплення — серед потомства було 50% червонооких самок та 50% білооких самців. У потомстві від схрещування їх між собою спостерігалося розщеплення 1:1:1:1 — 25% білооких самок, 25% червонооких самок, 25% білооких самців та 25% червонооких самців.

Морган припустив, що ген, який визначає забарвлення очей, міститься у хромосомах, пов'язаних із визначенням статі у дрозофіл (ми знаємо, що цей ген знаходиться в X-хромосомі). Відповідний запис схрещування підтверджує це припущення (мал. 13).

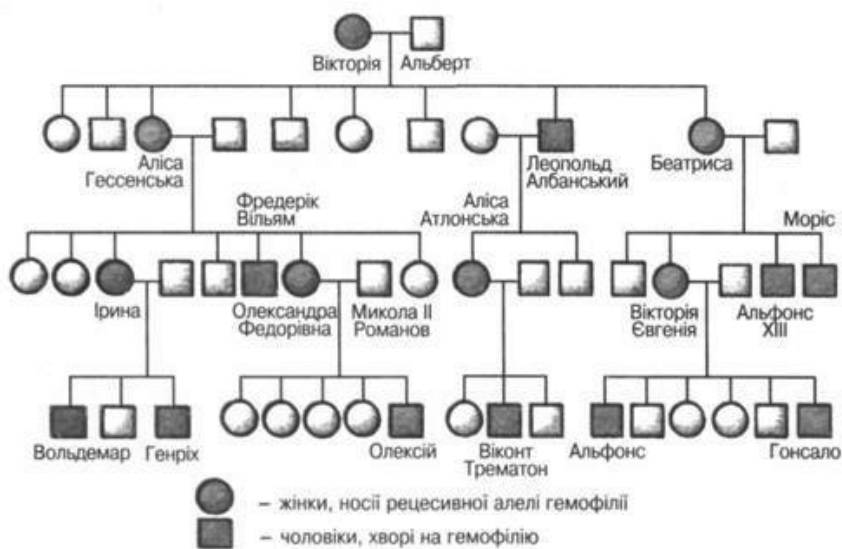


Мал. 13. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю

Прикладом зчепленої зі статтю ознаки у ссавців є «черепахове» (каліко) забарвлення кішок. Чорне забарвлення у цих тварин домінує над рудим, а ген, що визначає колір шерсті, локалізований у X-хромосомі. Гетерозиготна за цим геном самка може мати черепаховий окрас.

У людини описана велика кількість зчеплених з X-хромосомою генів. Певні алелі деяких з них викликають спадкові захворювання. Наприклад, рецесивно зчеплено з X-хромосомою успадковуються такі хвороби, як гемофілія (порушення зсідання крові, мал. 14), дальтонізм (порушення сприйняття кольорів), міопатія Дюшенна (порушення у формуванні м'язової тканини), домінантно — рахіт, стійкий до вітаміну D.

Ознаки, зчеплені з X-хромосомою, проявляються як у самок, так і у самців (хоча й не однаково часто). Натомість ознаки, зчеплені з Y-хромосомою, виявляються лише у самців. Такі ознаки називаються голандричними. У людини таким чином успадковується схильність до раннього статевого дозрівання, гіпертрихоз (надмірне оволосіння) вухної раковини та наявність шкірних перетинок між пальцями.



Мал. 14. ♀ — Жінки, носії рецесивного алелю гемофілії
 приклад — Чоловіки, хворі на гемофілію

1. Пояснить, чому чоловіки частіше хворіють на зчеплені зі статтю хвороби, аніж жінки?
2. Розгляньте мал. 13. Чому в попередніх темах було не суттєво, хто з батьків має один фенотип, а хто — інший, а в цьому випадку ми бачимо, що наявність ознак в самця або самиці впливає на результати схрещування?



Обговоріть у групах



Як ви вважаєте, який з алелів голандричних ознак (нормальне оволосіння вушної раковини чи гіпертрихоз, відсутність чи наявність перетинок між пальцями) є домінантним, а який — рецесивним? Як це можна довести?

Незалежне успадкування кількох ознак



Запам'ятайте терміни: рекомбінація, дигібридне схрещування

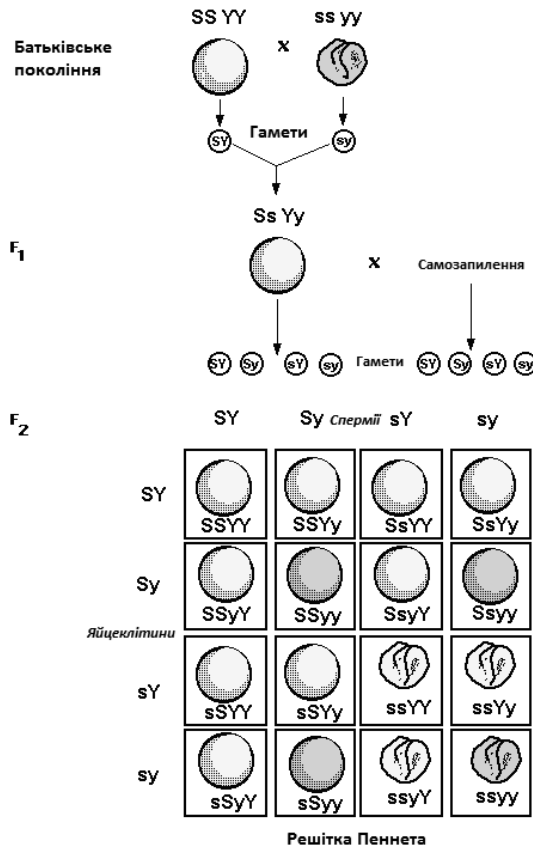
Раніше було розглянуто закономірності успадкування однієї ознаки. Однак кожен організм передає нащадкам цілий комплекс ознак, і важливо розуміти принцип успадкування кожної з них.

Дигібридне схрещування

У дигібридному схрещуванні розглядається успадкування двох різних ознак (мал. 15). Батьківські організми, як і у випадку моногібридного схрещування, є гомозиготними, утворюють по одному типу гамет (кожна з яких несе по одному алелю гена, що кодує кожну з ознак), потомство від цього схрещування є дигетерозиготним за генотипом та домінантним за фенотипом. Схрещуючись між собою, гібриди першого покоління утворюють вже не два типи гамет, а чотири, оскільки кожен з алелів потрапляє у гамети випадковим чином і з рівною ймовірністю. У гібридів другого покоління спостерігається розщеплення за фенотипом 9:3:3:1. На відміну від моногібридного, у другому поколінні дигібридного схрещування

з'являються особини з відмінними від батьківських форм комбінаціями ознак у фенотипі (наприклад, рослини гороху з жовтим зморшкуватим та зеленим гладким насінням). Подібне явище появи нових комбінацій ознак у генотипах гібридів називається **рекомбінацією**.

Дигібридне схрещування (за Менделем)



Мал. 15. Дигібридне схрещування

У своїх експериментах з горохом Г. Мендель здійснив дослідження успадкування двох ознак — наприклад, кольору та форми насіння. Для досліду, як і раніше, було взято чисті лінії. Одна з батьківських рослин мала жовте гладке насіння, друга — зелене зморшкувате (в попередніх дослідженнях Мендель з'ясував, що жовтий колір домінує над зеленим, а гладка форма — над зморшкуватою). Оскільки кожна з цих ознак визначається окремим геном, таке схрещування можна назвати **дигібридним** (на відміну від описаного раніше **моногібридного**). Потомство від схрещування цих двох рослин (перше покоління гібридів) згідно з відкритою раніше закономірністю мало жовте гладке насіння. Після самозапилення особин F1 серед гібридів другого покоління спостерігалось виразне розщеплення: за ознакою кольору насіння: 416 жовтих насінин та 140 зелених; за ознакою форми насіння: 423 гладкі та 133 зморшкуваті. Легко переконатися, що за кожною з ознак розщеплення становить 3:1. Якщо врахувати обидві ознаки одночасно, у потомстві наявні 315 жовтих гладких насінин, 101 жовта зморшкувата, 108 зелених гладких і 32 зелені зморшкуваті. Ці числа співвідносяться одне до одного приблизно як 9:3:3:1.

На основі отриманих даних Мендель зробив висновок, що ознаки кольору та форми насіння успадковуються незалежно одна від одної. Таким чином було сформульовано закон незалежного успадкування ознак, або **третій закон Менделя**:

«Окремі гени успадковуються незалежно, утворюючи в гаметах різні комбінації ознак з однаковою ймовірністю, а у потомстві — розщеплення за фенотипами у співвідношенні 9:3:3:1».

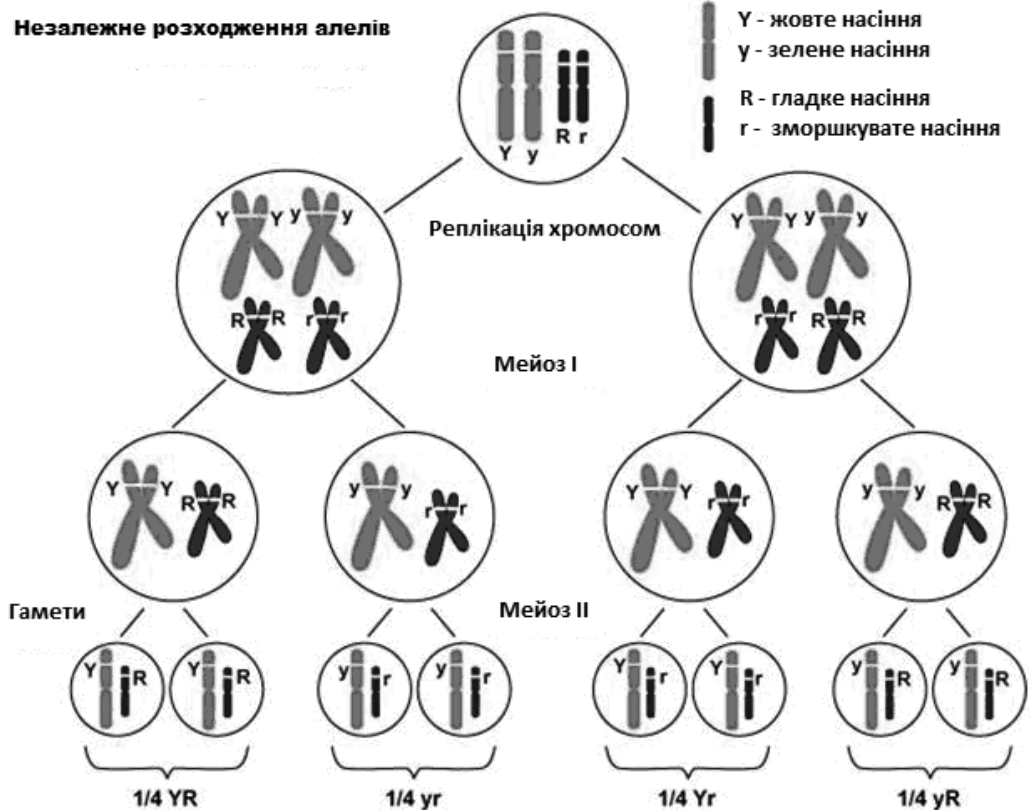
Цитологічні основи законів Менделя

Експерименти Менделя, окрім закономірностей успадкування ознак, дають змогу зробити висновок про принцип передачі генетичного матеріалу. Незалежне успадкування різних ознак, а також вільне комбінування їх у потомстві підтверджують наявність дискретних, відокремлених носіїв, кожен з яких містить один алель гена, що визначає певну ознаку. Ця закономірність, як ми пам'ятаємо, отримала назву гіпотези чистоти гамет.

Подальші дослідження дали змогу цитологічно підтвердити дану гіпотезу. Після того, як було відкрито нуклеїнові кислоти і з'ясовано роль ДНК у передачі спадкового матеріалу, було сформульовано визначення гена як функціонально найменшої одиниці генетичного апарату організму. Ген є ділянкою хромосоми, за якою відбувається транскрипція (зчитування інформації для подальшої реалізації в фенотипі). Кожна хромосома диплоїдного організму знаходиться в генотипі у двох примірниках — у двох гомологічних хромосомах. Оскільки алелі одного і того ж гена знаходяться в однакових локусах гомологічних хромосом, диплоїдний організм має по два алелі кожного гена (статевих хромосом цей принцип стосується з деякими застереженнями, що буде розглянуто у наступних розділах).

У процесі мейозу утворюються статеві клітини з гаплоїдним набором хромосом (мал.16). Таким чином, до кожної гамети потрапляє по одній хромосомі з пари, а отже, і по одному алелю гена. У гомозиготних організмів ці алелі однакові, а отже, утворюється один тип гамет; у гетерозиготних — різні, тому ці організми продукують два типи гамет. Після злиття гамет відновлюється диплоїдний набір хромосом і алельні гени отримують змогу взаємодіяти між собою. Однак ні в гаметах, ні у зиготі алелі одного і того ж гена не «змішуються» між собою.

Незалежне розходження алелів



Мал. 16. Незалежне утворення гамет з різними алелями



1. Як ви вважаєте, в однакових чи в різних локусах знаходяться гени кольору та форми насіння в гороху?
2. Сформулюйте цитологічні основи моногібридного схрещування.
3. Яке значення має рекомбінація?

Обговоріть у групах



Чи відміняє третій закон Менделя основні положення першого та другого законів?

Незчеплені та зчеплені гени



Запам'ятайте терміни: зчеплені гени, хромосомна карта

Хромосомна теорія спадковості. Зчеплене успадкування

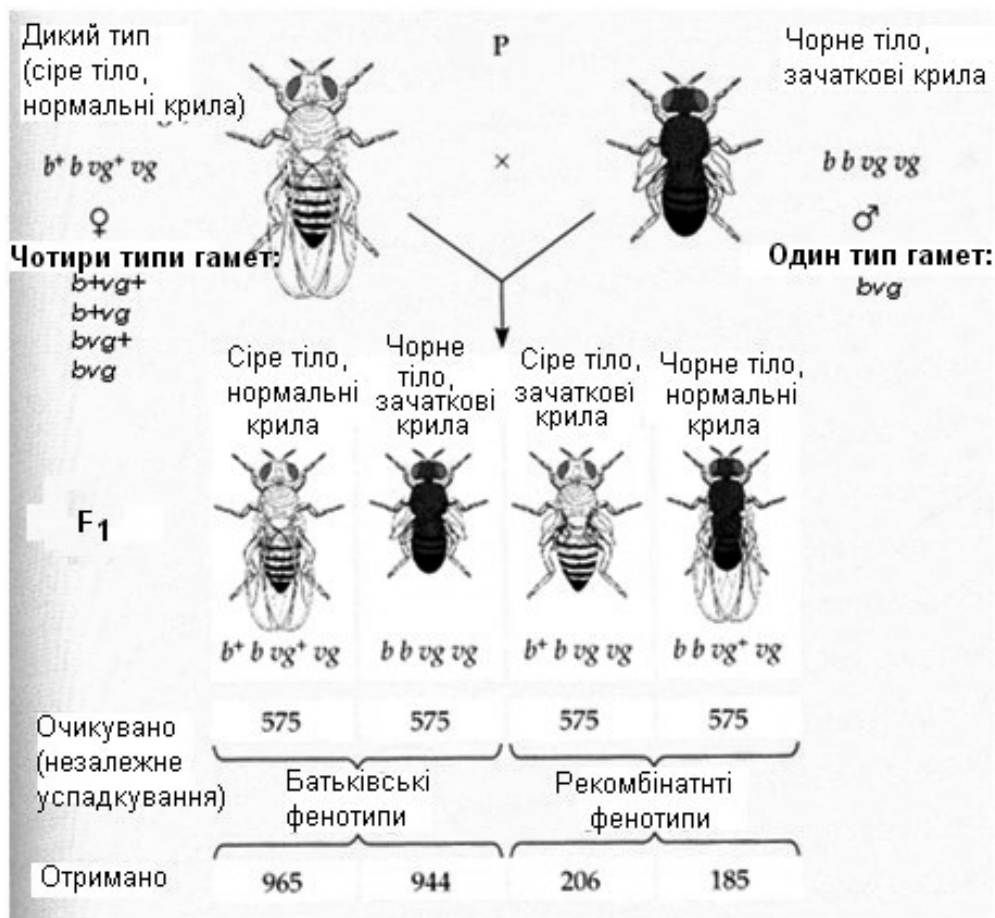
Грегор Мендель проводив свої дослідження ще до відкриття ДНК, а отже, не міг знати, на чому базуються відкриті ним закономірності. На початок ХХ століття наука накопичила достатньо даних про хромосоми, щоб остаточно пов'язати закономірності спадковості та їх цитологічні основи. Першим вченим, якому вдалося підтвердити роль хромосом як носіїв спадковості, був Томас Хант Морган. Перші дані своїх досліджень вчений опублікував у 1910 році; теорія, основи якої він сформулював, має назву хромосомно-генної теорії спадковості Т. Моргана. За свої наукові праці вчений був удостоєний Нобелівської премії з фізіології та медицини у 1933 році.

Не останню роль в успішній науковій діяльності Моргана відіграв вдалий, як і у Менделя, вибір модельного об'єкта. Вчений здійснював експерименти на плодових мушках *Drosophila melanogaster*. Ці комахи мають набір легко помітних і різноманітних зовнішніх ознак, роздільностатеві, швидко розмножуються та досягають статевої зрілості (лише за два тижні), невибагливі в утриманні (їхніх личинок годують манною кашею). За короткий час Моргану вдалося отримати велику кількість чистих ліній мушок за ознаками кольору та форми очей, кількості та форми щетинок на тілі, кольору тіла, форми крил та ін.

Морган провів схрещування гомозиготних за домінуючими алелями сірого забарвлення тіла та нормальної форми крил самців дрозофіли та гетерозиготних за рецесивними алелями тих самих генів (чорне забарвлення тіла та зачаткові крила) самок. Усе потомство від цього схрещування мало домінуючий фенотип. При проведенні аналізуючого схрещування (з особиною, яка є гомозиготою за рецесивними ознаками і має чорне забарвлення тіла та зачаткові крила) очікувалося розщеплення 1:1:1:1. Натомість реально було отримано потомство з таким співвідношенням фенотипів: 41,5% сірих з нормальними крилами мушок, 41,5% — чорних з зачатковими крилами, 8,5% чорних з нормальними крилами і 8,5% — сірих із зачатковими крилами (мал. 17).

Гени, що містяться в одній хромосомі, утворюють комплекс, що називається **групою зчеплення**. Кількість груп зчеплення у кожному організмі дорівнює загальній хромосом у гаплоїдному наборі; через це дрозофіла також є дуже зручною в якості об'єкта генетичних досліджень: в неї всього чотири пари хромосом.

Однак якщо б відхилення від менделівського розподілу визначалося лише знаходженням генів в одній і тій же хромосомі, наявність в аналізуючому схрещуванні потомства з фенотипами, відмінними від батьківських форм, була б неможлива. Причиною появи таких гібридів є явище кросинговеру між гомологічними хромосомами під час мейозу. В процесі кросинговеру хромосоми здійснюють обмін гомологічними ділянками, що дозволяє утворювати нові комбінації алелів. Припустивши, що частота кросинговерів залежить від того, як близько між собою розташовані гени, співробітник Т. Моргана А. Стертевант вивів одиницю відстані між генами. Цю одиницю на честь Т. Моргана було названо морганідою. В даний час використовують більш зручну одиницю — сантиморган (сМ), що дорівнює 1% кросинговеру.



Мал. 17. Зчеплене успадкування

Порядок розташування генів, а також відстань між окремими генами у хромосомі зручно відображати у вигляді генетичних карт. Першу генетичну карту створив той самий А. Стертевант; приклад такої карти можна побачити на мал. 6.

Генетичні карти будуються на основі даних системи аналізуючих схрещувань за декількома ознаками та аналізу кількості нащадків з рекомбінантними фенотипами. Факт наявності кросоверних організмів за деякими ознаками свідчить про знаходження генів, що детермінують ці ознаки, в одній хромосомі. За відсотком кросоверів можливо визначити відстані між певними генами та розмістити їх у певному лінійному порядку, що відповідатиме розташуванню генів у хромосомі. Приналежність гена до тієї чи іншої групи зчеплення (а отже, до конкретної хромосоми) визначається за зчепленістю його успадкування з певними вже відомими генами (маркерами), набір яких є унікальним для кожної групи зчеплення.

Зчеплення буває повним і неповним. **Повне зчеплення** — це різновид зчепленого успадкування, за якого гени аналізованих ознак розташовані настільки близько один до одного, що кросинговер між ними стає неможливим. **Неповне зчеплення** — вид зчепленого успадкування, за якого аналізовані гени розташовуються на деякій відстані один від одного, що уможливило кросинговер.

Хромосомна теорія спадковості

На базі проведених досліджень Морганом була сформульована **хромосомна теорія спадковості**. Нижче подано її основні положення:

1. Усі гени розташовані в хромосомах. Кожен ген займає певне місце — локус — хромосоми. Аallelні гени гомологічних хромосом розташовані в однакових локусах.
2. Порядок розташування генів у хромосомах — лінійний.
3. Кожна негомологічна хромосома має власний унікальний набір генів. Цей набір утворює групу зчеплення.
4. Сила зчеплення між генами визначається відстанню між ними — чим більша відстань, тим слабше зчеплення.
5. Порухнення зчеплення між генами однієї групи здатне відбуватися завдяки кросинговеру.
6. Кожен вид має власний унікальний набір хромосом — каріотип.



1. За якої відстані між генами зчеплені гени неможливо відрізнити за результатами схрещування від незчеплених?
2. Які методи генетики можна використати для побудови генетичних карт, окрім гібридологічного?

Обговоріть у групах



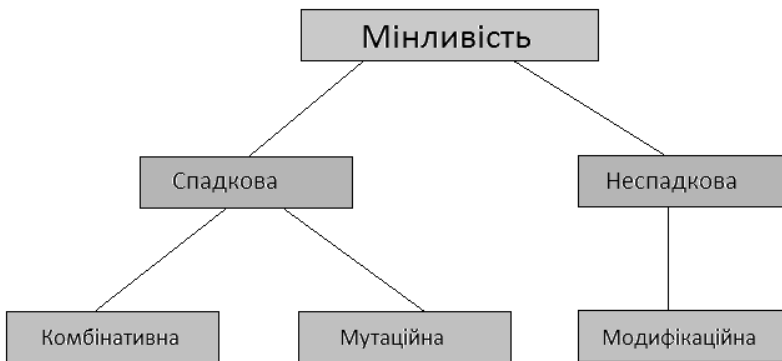
Як ви гадаєте, чи корисно організмам те, що гени розташовані зчеплено в кількох хромосомах, а не по одинці, кожен в своїй хромосомі? Наведіть аргументи.

Мінливість. Комбінативна та мутаційна мінливість



Запам'ятайте терміни: комбінативна мінливість, мутація, генні, хромосомні та геномні мутації, мутагени

Широка різноманітність ознак, притаманних живим організмам, визначається низкою факторів, пов'язаних як із особливостями самого організму, так і з впливом на нього зовнішнього середовища. Ці ознаки постійно змінюються, утворюють нові поєднання, підтримуючи таким чином фундаментальну властивість живого — **мінливість**. Різноманітність факторів, що впливають на мінливість, зумовили її поділ на спадкову та неспадкову (мал. 18).



Мал. 18. Види мінливості

Комбінативна мінливість зумовлюється рекомбінацією генів (мал. 19). Ця рекомбінація може виникати внаслідок:

- незалежного розходження хромосом під час мейозу — до кожної з дочірніх клітин хромосоми, а отже, й алелі, які вони несуть, потрапляють випадковим чином;
- вільного комбінування гамет — при статевому розмноженні гамети зливаються між собою, довільно поєднуючись;

-
- рекомбінації генів внаслідок кросинговеру — різні частоти кросинговеру та розмір ділянок, якими обмінюються хромосоми, дає велику кількість рекомбінантних варіантів. Наслідком комбінативної мінливості є різноманітність фенотипів не лише у якісному, а й у кількісному значенні. Саме внаслідок вільної комбінації алелів у генотипі на базі обмеженого числа генів виникає незліченна кількість варіантів фенотипу. Варто звернути увагу, що вся різноманітність варіантів забезпечується вже існуючими варіантами ознак. У цьому й полягає відмінність комбінативної мінливості від мутаційної.



Мал. 19. Діти схожі на своїх батьків, однак не повторюють повністю їх фенотипи: ознаки, успадковані від батьків комбінуються вільно і випадковим чином.

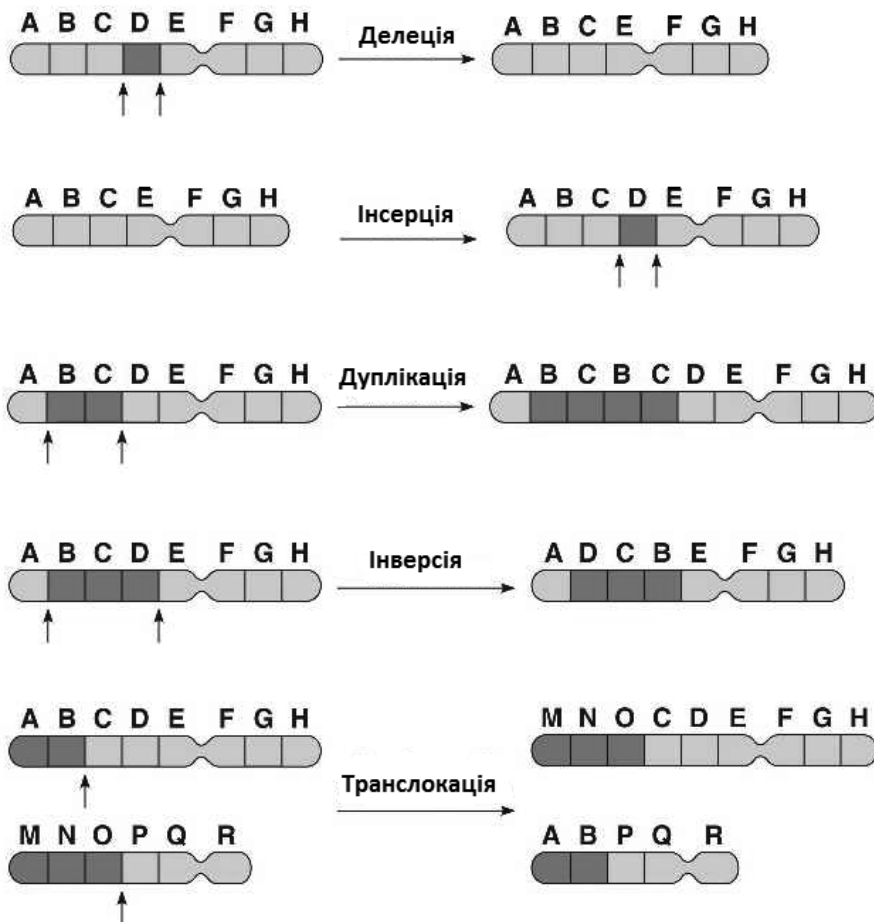
Мутаційна мінливість

Процеси, які складають основу комбінативної мінливості, базуються на створенні нових поєднань вже існуючих ознак. Поява нових варіантів алелів, а отже і ознак, що визначаються ними, є базовим процесом мутаційної мінливості.

Поява нових варіантів ознак у фенотипі на рівні генотипу спричиняється стійкими змінами у спадковому апараті — **мутаціями**.

Класифікація мутацій. За характером зміни генетичного матеріалу мутації поділяють на:

- **геномні** — кількісні зміни у наборі хромосом, що можуть бути кратними гаплоїдному набору (*поліплоїдія* — збільшення в кілька разів) або не кратними (*анеуплоїдія* — збільшення або зменшення кількості хромосом на одну). Серед тварин поліплоїдні організми рідко є життєздатними, в той час як у рослин поліплоїдні форми життєздатні та можуть володіти корисними ознаками та високою життєздатністю. Варіантами *анеуплоїдії* є **моносомія** (наявність лише однієї хромосоми з пари гомологічних хромосом, тобто втрата однієї хромосоми) та **трисомія** (наявність у парі додаткової гомологічної хромосоми, тобто трьох замість пари).
- **хромосомні** — структурні зміни у складі самих хромосом (мал. 20): втрати часток хромосом (*делеції*) або їх вставки (*інсерції*), зміни орієнтації фрагментів хромосом (*інверсії*), подвоєння ділянок хромосом (*дуплікації*), перенесення ділянок з однієї хромосоми на іншу (*транслокації*).
- **генні** — зміни у нуклеотидній послідовності певного гена. Делеції, інверсії та інші вищеперераховані зміни в даному випадку можуть стосуватися як цілої нуклеотидної послідовності гена, так і окремих нуклеотидів (**точкові мутації**). Якщо точкова мутація полягає у заміні одного нуклеотида на інший, триплетність генетичного коду зберігається, однак під час функціонування такого гена може синтезуватися поліпептид, у якому одна амінокислота замінена іншою. Випадіння або вставка одного нуклеотида призводять до типу мутацій, що має назву «порушення рамки зчитування», оскільки при таких змінах генетичний код ДНК, починаючи від місця мутації, зчитуватиметься, неправильно розбиваючи послідовність на триплети.



Мал. 20. Хромосомні перебудови

Мутагени

Одним із основних **фізичних мутагенів** є **іонізуюче випромінювання**. Його мутагенна дія була доведена у 1926 році Г.Дж. Меллером. Механізм мутагенного впливу цього виду випромінювання полягає в іонізації атомів, що входять до складу біомолекул. Внаслідок цього порушується цілісність ланцюгів ДНК, що призводить до різноманітних перебудов у нуклеотидній послідовності. Ще одним мутагенним ефектом даного виду випромінювання є здатність спричиняти розриви ланцюгів ДНК. Найбільшу небезпеку мутагенна дія іонізуючого випромінювання становить для клітин, що активно діляться. Мутагенну дію мають також інші різновиди радіоактивного випромінювання.

Під впливом **екстремальних температур** (дуже низьких або дуже високих) також можуть виникати геномні мутації. Також екстремальні температури можуть підсилювати дію інших мутагенів.

Хімічні мутагени здатні вступати у взаємодію з різними компонентами ДНК і викликати мутації шляхом хімічної модифікації цих компонентів. Наслідком дії хімічних мутагенів є порушення комплементарності нуклеотидів під час реплікації, що призводить до заміни пар нуклеотидів у структурній послідовності гена — до точкових, або генних мутацій. Хімічними мутагенами є більшість речовин, що входять до складу тютюнового диму.

Механізми **біологічного мутагенезу** пов'язані з перенесенням та вбудовуванням фрагментів чужорідної ДНК у структурну послідовність гена. Основними переносниками таких фрагментів є **віруси**. Вони можуть як вбудувати свою ДНК у ДНК господаря, так і вивільнити її, часто захоплюючи при цьому фрагменти ДНК господаря. Наслідком цього є перенесення спадкової інформації між організмами одного або різних видів — *горизонтальне перенесення генів*.

За зміни умов середовища такі мутантні форми можуть виявитися більш життєздатними, аніж нормальні. Як наслідок, з кожним поколінням мутантні алелі будуть закріплюватися у популяції, а нормальні — видалятися з неї. Цей процес є одним із основних механізмів еволюції. В якості ілюстрації наведемо вислів видатного англійського генетика і біохіміка Джона Холдейна: «Яка функція гена гемофілії? Сьогодні ми говоримо, що він не здатний виконувати свою нормальну і необхідну функцію. Але через тисячу років наші нащадки, можливо, скажуть: «Функція цього гена полягає в тому, щоб перешкоджати швидкому зсіданню крові. Це створює деякі незручності в перше сторіччя людського життя, проте виявляється дуже цінним при пересадках серця, а операції такого роду люди зазвичай потребують після стап'ятдесятирічного віку».



1. Чому більшість генних мутацій рецесивна?

2. Як впливають властивості генетичного коду на ймовірність виникнення генних мутацій? В яких випадках зміна нуклеотидів ДНК не призводить до змін в амінокислотній послідовності білків, тобто до мутацій?

Обговоріть у групах



1. Знайдіть приклади корисних мутацій (або мутацій, вплив яких з часом змінився зі шкідливого на корисний).

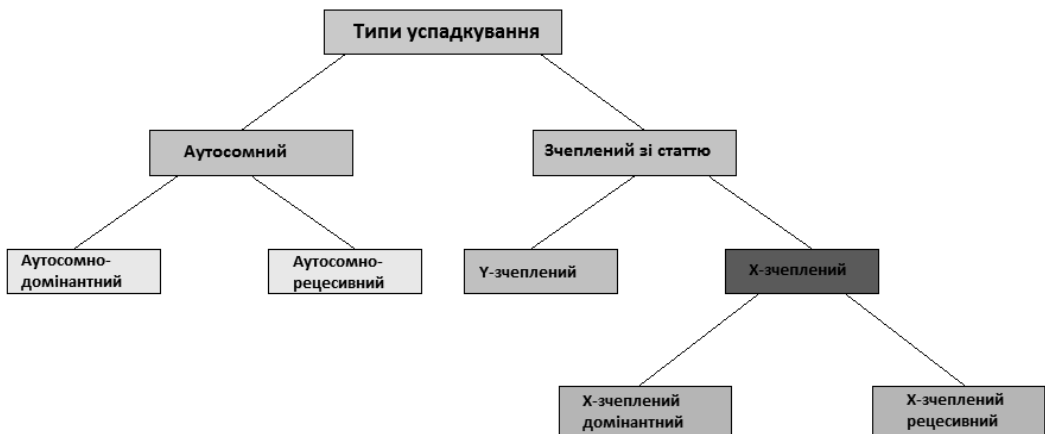
2. Запропонуйте заходи безпеки для людей, чия професійна діяльність пов'язана з контактом з мутагенами.

Спадкові захворювання



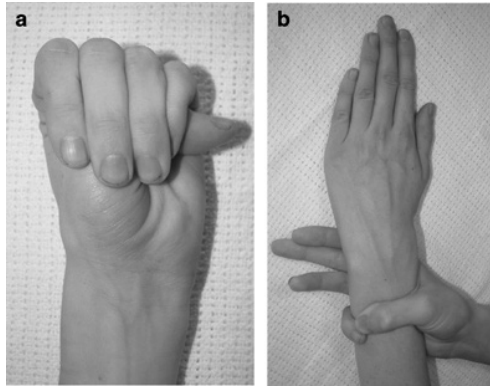
Запам'ятайте терміни: типи успадкування, синдром Дауна

Фенотипові ознаки людини та особливості їх успадкування. Спадкові захворювання, зумовлені генними мутаціями.



Мал. 21. Типи успадкування ознак у людини

За **аутосомно-домінантним** типом успадковуються такі ознаки, як темний колір волосся та шкіри, карі та зелені очі, кучеряве волосся, ніс з горбинкою, наявність ямочок на щоках, довгі вії, щілина між зубами (діастема), товсті губи тощо. За цим типом успадковуються також мутації, що призводять до таких захворювань, як, наприклад, полідактилія (збільшена кількість пальців; це захворювання згадується навіть у Біблії), брахідактилія (вкорочені пальці), целіакія (нездатність засвоювати глютен — білок, що міститься у зерні більшості культурних злаків) та синдром Марфана (мал. 22).



Мал. 22. Підвищена гнучкість суглобів — один із проявів синдрому Марфана.

Аутосомно-рецесивно успадковуються світлий колір волосся та шкіри, блакитні очі, пряме волосся, прямий ніс, відсутність ямочок на щоках, короткі вії, відсутність діастеми, тонкі губи, руде волосся та ін. Аутосомно-рецесивні захворювання людини, як правило, зумовлені дефіцитом певного білка, тому перш за все такі патології є порушеннями обміну речовин. Серед них — муковісцидоз (підвищена густина слизу, що утворюється в організмі), альбінізм (порушення синтезу пігменту меланіну, що призводить до повної відсутності пігментації тіла, мал. 23), фенілкетонурія (порушення метаболізму амінокислот, насамперед — фенілаланіну, що призводить до отруєння організму токсичними продуктами обміну речовин, мал. 24), порушення зсідання крові (гемофілія С, мал. 14), серповидноклітинна анемія.

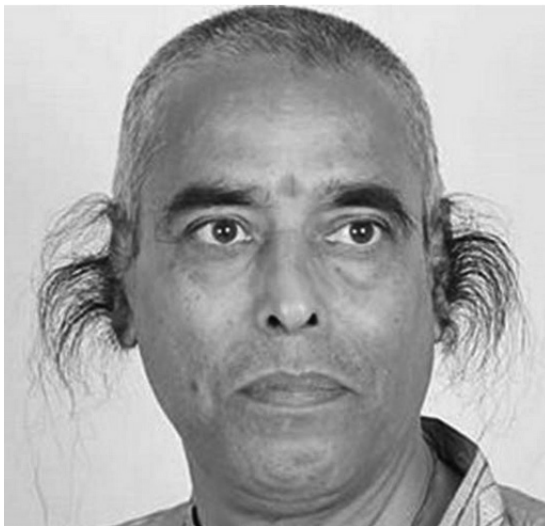


Мал. 23. Альбінізм: дівчинка-альбінос з матір'ю.



Мал. 24. При фенілкетонурії хворі повинні дотримуватися спеціальної дієти, тому виробники продуктів харчування пишуть попередження про вміст у виробках фенілаланіну.

Голандричних ознак людини (зчеплених з Y-хромосомою) описано всього шість. Серед них іхтіоз (порушення зроговіння шкіри), надмірне оволосіння вушних раковин (мал. 25) та фаланг пальців.



Мал. 25. Гіпертрихоз вушних раковин

Домінантні ознаки, зчеплені з X-хромосомою, можуть проявлятися як у жінок, так і у чоловіків. У людини це переважно патології, такі, як вітамін D-незалежний рахіт та гіпоплазія (потоншення) зубної емалі. Розщеплення за фенотипом у потомстві хворої матері та здорового батька незалежно від статі складатиме 50%.; хворого батька та здорової матері — фенотиповий прояв у дочок становитиме 100%, а у синів — 0%, оскільки вони не отримують від батька X-хромосому.

X-зчеплені рецесивні ознаки у гетерозиготному стані в фенотипі жінки не проявляються, а у фенотипі чоловіка проявляються завжди. За цим типом успадковуються такі патології, як гемофілія (порушення зсідання крові), дальтонізм (порушення сприйняття кольорів), міопатія Дюшенна (порушення у формуванні м'язової тканини).

Усі вищепераховані спадкові захворювання зумовлені генними мутаціями.

Хромосомні та геномні спадкові захворювання

Велика кількість спадкових хвороб виникає також внаслідок хромосомних перебутов. Наприклад, *синдром котячого крику* зумовлений делецією довгого плеча 5 хромосоми. Фенотипово це захворювання проявляється загальними порушеннями фізичного розвитку, маленьким зростом, розумовою відсталістю; характерним симптомом є специфічний крик новонароджених, схожий на нявчання кішки.

Серед патологій, спричинених геномними мутаціями, найбільш поширеними є мутації зменшення або збільшення кількості окремих хромосом, що можуть відбуватися за аутосомами та статевими хромосомами.

Серед аутосомних мутацій цього типу найвідомішим є *синдром Дауна*, спричинений трисомією 21 пари хромосом (мал.26). Іноді цей синдром може виникати внаслідок транслокації ділянки однієї з 21 пари хромосом на іншу (як правило на одну із пар 16-18).

Проявами цієї хвороби є затримка розумового розвитку та численні аномалії розвитку обличчя — косі очі, широкий плоский ніс, напіввідкритий рот. Ризик народження дитини з синдромом Дауна зростає з віком матері. Як правило, комплекс спеціальних навчально-виховних заходів з раннього етапу життя дитини дозволяє частково компенсувати вроджені дефекти. Люди з синдромом Дауна можуть виконувати певні види робіт, жити в суспільстві (є навіть люди, які здобули вищу освіту); такі люди зазвичай позитивно налаштовані, відкриті до спілкування та добрі до оточуючих. Певний відсоток хворих має здатність до зачаття та народження дітей.



Мал. 26. Каріотип людини з синдромом Дауна.

Однією з характерних генетичних мутацій за статевими хромосомами є **синдром Шерешевського-Тернера**. Це захворювання спричинене моносомією за парою X-хромосом. У результаті народжуються діти жіночої статі з недорозвиненими статевими органами, надлишком шкіри на шії, обвисанням кутків обличчя та рота, низьким зростом (не вище 145 см), вадами розвитку кісток. Інтелект при цьому зберігається, однак часто у таких хворих виникає інфантилізм.

Наявність у парі статевих хромосом чоловіка додаткової X-хромосоми спричиняє захворювання, відоме як **синдром Кляйнфельтера**. Фенотипово це чоловіки високого зросту, з тендітними пропорціями тіла. У підлітковому віці виникає гінекомастія (збільшення грудних залоз). Зниження інтелекту в таких хворих насамперед стосується мовленнєвої сфери — їм складно висловлювати свої думки, будувати складні речення.

Профілактика спадкових захворювань

На основі знань про спадкові хвороби та потреби у їх передбаченні розвинулася **медико-генетичне консультування** — галузь профілактичної медицини, метою якою є зниження частоти генетичних захворювань.

Завданнями консультування є виявлення ймовірності розвитку спадкових патологій або вад розвитку у майбутньої дитини, своєчасне інформування про таку ймовірність батьків та допомога їм у прийнятті рішення про подальшу долю майбутньої дитини. Для людей, котрі збираються вступити у шлюб, консультування полягає у аналізі родоводів та наданні інформації про можливі патології потомства.

Деякі особи можуть належати до груп ризику за певним спадковим захворюванням, що зумовлює особливу важливість медико-генетичного консультування при плануванні їх сімей. Наприклад, молоді батьки перебувають у групі ризику щодо синдрому Вольфа-Хіршхорна, матері після 35 років — синдрому Дауна. Серед мешканців Кавказу часто зустрічається захворювання на муковісцидоз. Євреї-ашкеназі, у середовищі яких практикувалися споріднені шлюби, мають підвищену частоту захворюваності на синдром Тея-Сакса (одна із форм спадкового руйнування нервової тканини, від чого діти гинуть у 4-5-річному віці). До груп ризику також належать батьки, що довгий час перебували у зоні дії мутагенів або мають випадки спадкових захворювань у родині.

Ризик сімейної передачі спадкового захворювання визначають за **генеалогічним методом**. Оскільки тривалість людського життя є значною, достовірний аналіз певного родоводу міг тривати століттями і здійснюватися різними вченими.

На сьогоднішній день для складення родоводу збирають якнайповніші медичні дані про предків подружжя — як правило, до 3-4 покоління. Враховують також протікання вагітностей у жінок роду. Окрім факту наявності захворювання, метод родоводів дозволяє встановити його ступінь прояву в фенотипі.

Крім того, в генетиці людини широко використовують цитогенетичні та біохімічні методи та методи культури клітин.



1. Які причини визначають вибір методів дослідження в генетиці людини?
2. Представники якої статі частіше страждають на надмірне оволосіння вušних раковин? Дальтонізм? Фенілкетонурию?

Обговоріть у групах



1. Як сучасні методи генетики людини поступово витісняють генеалогічний аналіз? Для чого їх використовують?
2. Який моральний вибір стоїть перед батьками перед та після медико-генетичного консультування?

Модифікаційна мінливість



Запам'ятайте терміни: модифікаційна мінливість, модифікація, норма реакції

Модифікаційна мінливість

Розглянуті вище приклади стосуються спадкової мінливості і визначаються змінами у генотипі. Такі зміни спричиняються вільним комбінуванням елементів спадковості, виникненням нових типів цих елементів спонтанно або під дією певних чинників. Усі процеси спадкової мінливості певним чином впливають на характеристики фенотипу. Однак подібний вплив на фенотип здатні чинити і неспадкові фактори, що належать до середовища, в якому живуть організми.

Модифікації та їх пристосувальне значення

Зміни у фенотипі організму, викликані впливом зовнішнього середовища, називають **модифікаціями**, а мінливість, опосередковану цими змінами — **модифікаційною**.

Будь-яка модифікація є не стільки результатом дії факторів середовища, скільки реакцією організму на їх зміну. Хоч генотип при модифікаціях лишається незмінним, за довготривалої дії фактора може змінюватися прояв активності того чи іншого гена.

У водної рослини стрілолисту (*Sagittaria sagittifolia*, мал. 27) форма листків залежить від середовища, у якому вони розвиваються. Листки, що повністю знаходяться у воді, мають довгасту стрічкоподібну форму, в той час як надводні — форму наконечника стріли.

Частина модифікацій може втрачатися при припиненні або послабленні дії фактора, що її викликає. Так, при переїзді дорослого чоловіка на проживання до високогірного району число еритроцитів у його крові за кілька місяців життя у даній місцевості зростає з 4,2 млн/мм³ до 5,6 млн/мм³. При переїзді назад у місцевість, розташовану на незначній висоті над рівнем моря, число еритроцитів поступово повернеться до нормального показника.

В той же час у деяких людей, що в дитинстві хворіли на рахіт (захворювання, викликане дефіцитом в організмі вітаміну D) викривлення кісток, набуті внаслідок цієї хвороби, можуть залишатися на все життя. Отже, деякі модифікації не зникають навіть при припиненні дії модифікуючого фактора.

Модифікуючий вплив може чинити не тільки дія фактора, а й її відсутність. Так, у космонавтів внаслідок низької гравітації настає часткова атрофія м'язів (мал. 28).



Мал. 27. Стрілолист



Мал. 28. Щоб уникнути атрофії м'язів внаслідок низької гравітації, космонавти вимушені виконувати спеціальний комплекс вправ.

Усі вищеперераховані модифікації є корисними для організмів у змінених умовах середовища, тобто допомагають живим істотам пристосовуватися до цих умов. Такі пристосувальні зміни називаються **адаптаціями**.

За модифікаційної мінливості фенотипові ознаки організмів можуть змінюватися лише у певних, окреслених генотипом, межах. Такі межі називаються **нормою реакції**. Зокрема, у ссавців (в тому

числі і людини), оволосіння тіла визначається активністю чоловічих статевих гормонів. Гормони діють в межах, визначених спадковістю — спричиняючи розподіл волосся по різних ділянках тіла. Кількість волосин не є сталою і варіює в залежності від умов середовища та віку організму.

Діапазон норми реакції залежить від типу ознаки — більш важливі для нормальної життєдіяльності ознаки мають вузку норму реакції, менш важливі — ширшу. Наприклад, значення температур, за яких більшість ферментів є активною, надзвичайно вузькі. В той же час вага та зріст людини можуть змінюватися в доволі широких межах.



1. В чому полягає користь для стрілолиста того, що листки, що повністю знаходяться у воді, мають довгасту стрічкоподібну форму, а надводні — форму наконечника стріли?
2. Для яких ознак гени задають не конкретне значення, а межі, в яких ознака може змінюватися? В чому полягає користь від такого впливу генів на фенотип?

Обговоріть у групах



Наведіть приклади ознак з вузькою та широкою нормою реакції. Як ці знання можна використати в практиці?

Успіхи сучасної генетики. Методи селекції



Запам'ятайте терміни: селекція, сорт, порода, штам, інбрідинг, аутбрідинг

Генетичні основи селекції організмів

Селекція — наука про методи створення нових та вдосконалення вже існуючих штамів мікроорганізмів, сортів рослин та порід тварин з цінними ознаками та властивостями.

В основі селекції лежать *спадкова мінливість організмів* та *штучний добір*.

У процесі розвитку цивілізації людство часто вдавалося до селекції, не маючи підґрунтя у вигляді необхідних теоретичних знань. Наприклад, для висаджування відбиралося лише найкраще насіння. Таким чином людина несвідомо покращувала корисні характеристики важливих для господарства організмів.

Для проведення селекції людина створює штучні популяції організмів, що мають спільні корисні ознаки. Такі популяції у роли називаються **сортами**, у тварин — **породами**. Клон клітини мікроорганізмів, що володіє певними властивостями, називається **штамом**.

Сорти, породи і штами не здатні до ефективного існування в дикій природі, їх підтримує людина. При втраті такої підтримки ці штучні популяції можуть втрачати свої корисні властивості.

Методи селекції

Штучний добір — історично перший метод селекції. Він полягає у відборі особин, що володіють потрібними людині властивостями і подальшому розмноженні цих особин. Таким чином з покоління в покоління корисні властивості проявляються яскравіше і вдосконалюються.

На початку розвитку людства селекція відбувалася в основному у формі *несвідомого* добору. Сучасна селекція оперує *методичним* добром — селекцією організмів з метою отримання заздалегідь запланованого результату.

Існує декілька форм штучного добору. **Масовий добір** — процес відбирання цілих груп організмів з потрібними властивостями. Основним недоліком цього методу є неможливість виключення впливу модифікаційної мінливості на формування ознак фенотипу. Окрім цього, подібні фенотипово особини можуть суттєво різнитися між собою за генотипом. Це дозволяє швидко вивести породу або сорт за рахунок високої кількості гетерозигот у потомстві від ряду перших схрещувань. Генетична різноманітність особин при масовому доборі залишається доволі високою.

При *індивідуальному* доборі здійснюється відбір не цілих груп, а конкретних особин з потрібною ознакою. Це дозволяє виключити вплив модифікаційної мінливості. Аналізуючи потомство кожної особини окремо, можна з більшою точністю визначити, є певна ознака

результатом реалізації генотипу чи на її формування вплинули умови, не пов'язані із спадковістю. Індивідуальний добір застосовують для отримання чистих ліній організмів.

Гібридизація — метод селекції, що полягає в отриманні організмів з потрібними властивостями шляхом постановки системи схрещувань.

Особини, що беруть участь у схрещуванні, можуть знаходитися на різних ступенях спорідненості одне до одного.

Близькоспоріднене схрещування (**інбридинг**) використовується для виведення чистих ліній особин. Така гібридизація призводить до гомозиготизації популяції, в результаті чого проявляються несприятливі рецесивні ознаки. Виникає *інbredна депресія* — зниження життєздатності та продуктивності у особин в результаті тривалого інбридингу.

Неспоріднене схрещування (**аутбридинг**) проводиться між особинами з різних ліній. Аутбридинг дозволяє комбінувати цінні ознаки різних порід або сортів. Оскільки за цього виду схрещування шкідливі алелі переходять у гетерозиготний стан, у гібридів першого покоління спостерігається значне підвищення життєздатності. Таке явище називається *гібридною силою*, або *гетерозисом*.

Не всі корисні властивості визначаються вже існуючими генами особини. Тому в деяких випадках дослідники застосовують *методи індукованого мутагенезу*, спочатку добиваючись у генотипі мутації з потрібним ефектом, а потім закріплюючи цей ефект у нащадків мутантних особин.



1. Що саме відбирається при індивідуальному доборі? Яки з видів добору — індивідуальний чи масовий — потребує менше зусиль і дозволяє швидше отримати бажаний результат?

2. Які методи генетики можна використовувати в селекції рослин? Тварин? Як саме?

Обговоріть у групах



Опишіть, як виглядав процес селекції рослин (пшениці) або тварин (собак) давніми людьми.

Селекція рослин, тварин, мікроорганізмів



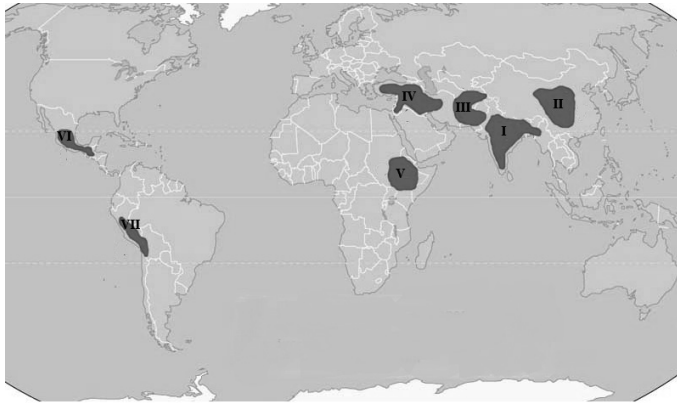
Запам'ятайте терміни: центр походження культурних рослин.

Особливості селекції рослин

Рослини є зручними об'єктами селекції за рахунок ряду властивостей — короткого життєвого циклу, високої плодючості, здатності до вегетативного розмноження та самозапилення. Людина здавна покращувала характеристики диких рослин вигідним для себе чином. Культурні рослини запозичувалися і поширювалися від одного місця мешкання людей до іншого, все більше віддаляючись від своїх диких попередників. Однак заселення території планети такими попередниками було неоднаковим. Шляхом багаторічних досліджень М.І. Вавилов визначив сім основних *центрів походження культурних рослин* (мал.29):

1. Південноазіатський (огірок, лимон, кокос, чорний перець, чай, апельсин)
2. Східноазіатський (рис, просо, яблуна, груша, персик, соя, грецький горіх, хурма)
3. Південно-західноазіатський (м'які пшениці, ячмінь, жито, фінік, горох, диня)
4. Середземноморський (капуста, буряк, морква, олива, виноград)
5. Ефіопський (тверді пшениці, кава, бавовник, кунжут)
6. Центральноамериканський (кукурудза, квасоля, соняшник, гарбуз, какао)
7. Андійський (картопля, помідор, хінне дерево, ананас, арахіс).

У деяких з цих центрів, особливо у південно-західноазіатському, досі можна зустріти диких попередників сучасних культурних рослин і прослідкувати розвиток корисних ознак через масу перехідних форм.

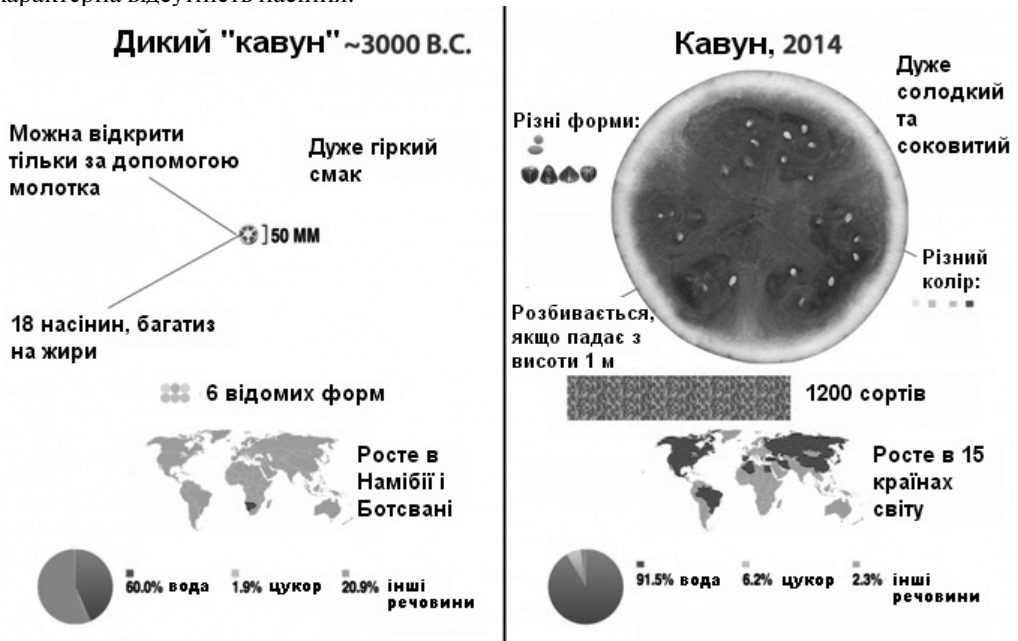


Мал. 29. Центри походження культурних рослин. Частка кожного з центрів приблизно розподілена наступним чином:

- Південноазіатський — 33%;
- Східноазіатський — 20%;
- Південно-західноазіатський — 4%;
- Середземноморський — 11%;
- Ефіопський — 4%;
- Центральноамериканський — 10%;
- Андійський — 8%.

У селекції рослин (мал. 30) застосовують усі види та форми штучного добору та гібридизації, а також індукований мутагенез.

Важливу роль відіграє також створення поліплоїдних форм. У рослин поліплоїдія впливає перш за все на смакові якості та масу плодів, оскільки збільшення кількості генів, що кодують певні продукти, веде до збільшення кількості цих продуктів. Більшість культурних сортів рослин є поліпоїдами; за образним висловом академіка П.М. Жуковського, людина харчується переважно продуктами поліплоїдії. Серед них є й безплідні поліплоїди, для яких характерна відсутність насіння.



Мал. 30. Зміна кількості форм (сортів) та розмірів плодів у кавунів внаслідок селекції

Більшість рослин здатна до вегетативного розмноження. Воно дозволяє швидко збільшити кількість рослин із вдалою комбінацією корисних ознак. Особливо важливою такою можливістю є для закріплення ознак, отриманих шляхом штучного мутагенезу, оскільки в процесі гібридизації вони можуть виявитися нестійкими і втратитися.

Ще одним важливим напрямом селекції рослин є застосування щеплень. Підщепа та прищепа взаємодіють на рівні фенотипу, даючи корисні комбінації ознак. Оскільки ці комбінації не закріплені у генотипі, вони можуть швидко втратитися. Тому важливо регулярно повторювати щеплення.

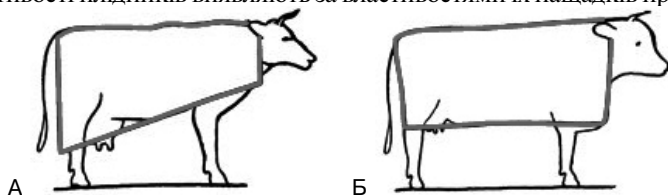
Особливості селекції тварин

Одомашнення (доместикація) тварин розпочалося вже на ранніх етапах розвитку людства. Першою твариною, яку людині вдалося одомашнити (15 тис. років тому), був вовк, що став диким предком домашнього собаки. Дещо пізніше відбулося одомашнення овець та кіз, ще пізніше — коней. Після переходу людини до землеробства відбулася доместикація кішок та домашньої птиці. Дикі предки деяких домашніх тварин дотепер існують як самостійні види (вовки — предки собак, муфлони — овець, дикі кабани — свиней), інших — вимерли у різний час (тарпани — предки коней, тури — корів).

Характерними особливостями тварин, що визначають методикку їх селекції, є неможливість самоzapліднення та доволі велика тривалість життєвого циклу.

Значну роль у селекції тварин відіграє індивідуальний штучний добір, різні форми гібридизації.

Особливістю статевого розмноження більшості цінних для людини тварин є те, що плодючість самців суттєво вища, ніж самок. Тому селекція перш за все проводиться в напрямку виявлення перспективних з точки зору розвитку породи самців (плідників). Як правило, у тварин цінні характеристики породи пов'язані з особливостями зовнішнього вигляду, однак деякі ознаки можуть бути присутніми лише в одній статі та відсутніми в іншій (наприклад, молочність у корів). Тому часто властивості плідників виявляють за властивостями їх нащадків протилежної статі.



Мал. 31. Узагальнений вигляд великої рогатої худоби молочного (А) та м'ясного (Б) напрямків селекції

Різноманітність порід тварин, так само, як і сортів рослин, показує широкі межі прояву визначених генотипом ознак, можливості виникнення нових ознак через мутації та суттєвість впливу модифікаційної мінливості на корисні для людини характеристики організмів. Більшість особин, що є представниками виведених людиною порід та сортів, за своїми ознаками надзвичайно віддалені від вихідних форм (мал.32).



Мал. 32. Різноманітність порід собак

Особливості селекції мікроорганізмів

Селекція мікроорганізмів повинна враховувати такі їх особливості, як відсутність статевого процесу та гаплоїдність (прокаріоти), можливість швидкого розмноження та здатність до штучного, індукованого мутагенезу.

Мікроорганізми, незважаючи на порівняно коротку історію їх вивчення, здавна використовувалися людиною для своїх потреб. Переважно це були еукаріотичні мікроорганізми — дріжджі (пекарські, винні, пивні) та різні види цвільових грибів, що використовуються у сироварінні. Через обмеженість знань про ці організми неможливо було провести їх селекцію, вона могла відбуватися лише в незначній мірі та несвідомо.

Сучасні методидослідженнядозволяютьвиявити корисні характеристики мікроорганізмів-прокаріот. Переважно ці мікроорганізми використовуються людиною як продуценти цінних хімічних речовин — антибіотиків, вітамінів, органічних кислот.

Оскільки у прокаріот немає статевого процесу, до них неможливо застосувати методи гібридизації. Як правило, наявність у генотипі генів, що визначають корисні ознаки, забезпечується шляхом індукованого мутагенезу. Гаплоїдність більшості прокаріот дозволяє мутації проявитися зразу. Клітини, у генотипі яких є мутація, відбирають та розмножують, формуючи великі культури нащадків однієї клітини (клони). Тому форма штучного добору, що використовується у селекції мікроорганізмів, називається *клональним добором*.

Для внесення у генотип потрібних характеристик застосовуються також методи клітинної та генетичної інженерії.

Клони клітин із вдалим комбінаціями характеристик розмножуються і висіваються на поживному середовищі. Зразки таких культур зберігаються у спеціальних колекціях (музеях) культур мікроорганізмів.



1. Розташуйте об'єкти селекції в напрямку від тих, з якими найлегше працювати задля формування бажаних ознак, до тих, чия селекція найбільш ускладнена.
2. Яке практичне значення мають центри походження культурних рослин?

Обговоріть у групах



Поміркуйте, як виглядало б життя людського суспільства, якщо в ньому була б така сама велика мінливість, як серед порід собак.

Біотехнології. Генетична інженерія. Генотерапія



Запам'ятайте терміни: біотехнологія, генетична інженерія

Біотехнологія — прикладна галузь біології, що розробляє методи та промислові технології, в яких живі організми та/або біологічні процеси використовуються у промисловості, медицині та інших сферах діяльності людини.

Деякі організми та процеси використовувалися людиною у господарстві здавна. Зокрема, виробництво вина, пива, сирів, оцту, кисломолочних продуктів, випікання хліба неможливе без участі специфічних мікроорганізмів — бактерій, дріжджів та цвільових грибів. З цими напрямками харчової промисловості пов'язані історично перші освоєні людиною біопроцеси — різні форми *ферментації* (бродиння). До початку ХХ століття біотехнологія розвивалася у напрямку покращення вже існуючих та пошуку нових технологій ферментації.

У першій чверті ХХ століття А. Флемінгом було відкрито *пеницилін* — перший антибіотик, добутий із цвільового гриба пеніцилу *Penicillium notatum*. На сьогоднішній день синтез антибіотиків різними мікроорганізмами — важлива галузь медичної біотехнології. У промисловій біотехнології ці організми, вдосконалені методами клітинної та генної інженерії, використовуються для отримання різноманітних хімічних сполук. Зокрема, це антибіотики нового покоління, що синтезуються не лише мікроскопічними грибами, але й деякими бактеріями.

Модифіковані штами мікроорганізмів виробляють оцтову, лимонну та інші органічні кислоти, вітаміни, ферменти тощо.

Мікроорганізми використовуються також нафтовій промисловості — у 1971 році було отримано штам бактерії, здатної споживати нафту і, як наслідок, ліквідувати нафтові плями на поверхні Світового океану.

З часом стали з'являтися нові форми біотехнології. Стало можливим проводити маніпуляції з окремими клітинами та їх культурами, а також з геномами організмів та їх фрагментами.

Генетична інженерія

Генетична (генна) інженерія — комплекс методів отримання рекомбінантних нуклеїнових кислот, виділення, модифікації та перенесення окремих генів. Розвиток генної інженерії став можливий лише у другій половині ХХ ст., коли були розроблені методи, необхідні для реалізації її завдань.

Виділення генів здійснюється за допомогою спеціальних ферментів — *рестриктаз*. Вирізани з їхньою допомогою послідовності мають так звані «липкі кінці» — комплементарні одностричкові фрагменти ДНК, здатні з'єднуватися з ДНК інших організмів.

Вирізани послідовності вбудовуються у вектор — кільцеву молекулу ДНК, що здійснює функцію перенесення гена у клітину-реципієнт. Вектори створюються на основі бактеріальних плазмід або фрагментів ДНК вірусів. Перенесений за допомогою вектора ген вбудовується у геном клітини-реципієнта. Таку форму перенесення генів застосовують переважно до бактерій та тварин. В генетичній інженерії рослин, поряд із застосуванням як вектора паразитичних бактерій, використовується бомбардування організму частками металу з нанесеною ДНК. Велика кількість таких часток збільшує шанси на вбудовування гена у потрібне місце.

Організми, що несуть штучно введені гени інших організмів, називаються **трансгенними**. У побуті часто використовується термін «**генетично модифікований організм**» (ГМО), однак він охоплює організми, піддані будь-яким змінам геному, що не обов'язково є наслідками генноінженерних процесів.

Створення трансгенних організмів полягає у перенесенні генів, що кодують певні продукти, у клітини інших організмів. Ці продукти можуть бути як цінними самі по собі, так і надавати організмам-реципієнтам корисних властивостей.

Одним із перших досягнень генетичної інженерії було перенесення генів, що кодують людський інсулін, у клітини *бактерій*. Це дало можливість отримувати велику кількість необхідного хворим на цукровий діабет білка і суттєво здешевити його виробництво.

Трансгенні тварини мають велике значення як для промисловості, так і для генетичних досліджень. Трансгенні миші широко використовуються для дослідження спадкових захворювань людини. На цих організмах здійснюють моделювання генетичних патологій людини шляхом введення і подальшої інактивації («нокауту») генів, мутації яких викликають захворювання. За допомогою трансгенних мишей вдалося створити моделі таких захворювань, як серповидноклітинна анемія, синдром Марфана, міопатія Дюшенна та ін.

Створено трансгенних свиней з рослинними генами, що замінюють насичені жирні кислоти у салі на ненасичені, знижуючи таким чином шкоду від вживання свинячого жиру для людини.

Низка експериментів присвячена введенням у клітини тварин гена медуз роду *Aequorea*, що кодує флуоресцентний білок. Завдяки цьому виведено тварин, що світяться у темряві. Така властивість корисна для вчених у дослідженнях певних біологічних процесів як під час ембріонального розвитку тварини, так і після народження. Флуоресценція клітин дає можливість спостерігати перебіг розвитку зародка, функціонування клітин органів, ріст пухлин тощо. Зокрема, завдяки цьому гену вчені вперше змогли побачити функціонування нейронів мозку. Японським дослідникам вдалося добитися передачі гена флуоресценції трьом поколінням нащадків трансгенних мавп.

Все більше застосування у сільському господарстві отримують *трансгенні рослини*. Завдяки генній інженерії виведено сорти рослин, стійких до шкідників, морозу, гербіцидів. Зручність культивування рослин робить їх важливими об'єктами для перенесення генів, що кодують

цінні хімічні речовини. Перш за все це білки імунної системи організму — антитіла, інтерферони, інтерлейкіни. Зокрема у Польщі проводяться експерименти зі створення рослин салату з перенесеним геном, що кодує антитіла до вірусу гепатиту.



Мал. 33. Трансгенний «золотий рис» несе гени, що кодують синтез провітаміну А, тож споживання такого рису може задовольнити потребу людини у цьому вітаміні.

Значення генетичної інженерії для медицини полягає у розвитку **генотерапії** — низки методів внесення генів у соматичні клітини людини. Такі методи можуть дати можливість лікування генетичних захворювань та корекції небажаних рис генотипу людини.

Використання трансгенних організмів викликає гострі дискусії у сучасному суспільстві (мал. 34).



Мал. 34. Антиреклама ГМО

Основними аргументами проти використання ГМО є:

- забруднення навколишнього середовища: вважається, що деякі трансгенні рослини можуть передавати внесені гени іншим рослинам, культурним або дикоростучим, що може призвести до непередбачуваних наслідків.
- недостатня кількість наукових даних щодо безпечності вживання продуктів ГМО. Під тиском даного аргументу уряди більшості країн прийняли рішення про обов'язкове маркування ГМО відповідними позначеннями.
- загроза витіснення звичайних сільськогосподарських рослин і тварин трансгенними і як наслідок можливість впливу на економіку держав з боку корпорацій, що володіють біотехнологіями.



Мал. 35. Маркування продуктів без ГМО в Україні

В той же час більшість подібних аргументів не підтверджується науково. Не відкидаючи ймовірності появи такого підтвердження у майбутньому слід, однак, зазначити, що досі не спостерігалось жодних достовірних негативних наслідків вживання продуктів ГМО. Позитивні наслідки очевидні — використання генетично модифікованих сортів рослин дозволяє збільшити врожай та в перспективі подолати глобальну продовольчу кризу; тварин — уможливорює нові напрямки дослідження біологічних процесів, в тому числі і людських; бактерій — отримати велику кількість цінних продуктів.

Генотерапія

Одним з напрямків, що набуває все більш широкого розвитку, є розробка методів **генотерапії** — лікування спадкових захворювань шляхом введення у геном певних послідовностей нуклеїнових кислот, що здатні виправляти «помилки» у структурі гена. Неподоланною перешкодою поки що залишається одна з фундаментальних рис спадковості — відтворення одного і того ж геному у всіх клітинах організму. Виправити помилки у мільйонах таких копій на сьогоднішній день неможливо. Тому важливою є своєчасна діагностика патологій, що дозволяла б втрутитися ще на стадії статевих клітин, що сформують майбутній зародок або на ранніх стадіях дроблення зиготи. Методи генотерапії є перспективними також щодо подолання ще однієї великої групи захворювань — онкологічних.



1. Порівняйте методи генетичної інженерії з методами класичної селекції. За допомогою яких можна отримати бажаний результат за менший проміжок часу та з меншими витратами?
2. Назвіть якомога більше продуктів біотехнологій та класифікуйте їх за способами використання людиною.

Обговоріть у групах



Чому серед багатоклітинних організмів (наприклад, ссавців) немає природного горизонтального перенесення генів? До яких наслідків це могло б призвести?

Клітинні технології. Штучне запліднення. Клонування



Запам'ятайте терміни: цитотехнології, клонування

Клітинні технології

Клітинні технології, або **цитотехнології** — це технології, які базуються на культурах клітин рослин і тварин. У 50-х роках ХХ ст. у США і країнах Західної Європи виникли подібно до банків крові банки замороженої сперми для штучного запліднення. Багатьом сім'ям цей спосіб дає змогу розв'язати питання безплідності. Також є банки, в яких зберігаються ракові клітини і клітини зі спадковими захворюваннями. Завдяки цьому вчені досліджують ці клітини і виявляють причини виникнення змін у них і способи їх виправлення.

Початок розвитку клітинної інженерії припадає на 60-ті рр. ХХ ст., коли було розроблено метод *гібридизації соматичних клітин*. Цей метод полягає у стимуляції злиття двох соматичних клітин одного або різних видів. Створення міжвидових клітинних гібридів людських і тваринних клітин дало можливість здійснити картування хромосом людини.

Штучне запліднення

Найбільш відомою та успішною галуззю клітинної інженерії є **штучне**, або **екстракорпоральне запліднення** (ЕКЗ), що є широко застосовуваною методикою подолання безпліддя. Під час ЕКЗ статеві клітини жінки та чоловіка виділяються з організму і піддаються злиттю «у пробірці». Успішне проведення ЕКЗ вимагає відповідної підготовки жіночого організму. Для підвищення шансів на успішне запліднення потрібно отримати декілька яйцеклітин, в той час як у нормі за одну овуляцію дозріває лише одна (рідко дві або більше) яйцеклітини. Для цього здійснюють стимуляцію дозрівання фолікулів шляхом введення в організм жінки гормональних препаратів. Такий процес має назву *суперовуляції*. Контроль дозрівання здійснюють за допомогою ультразвукового дослідження. Після досягнення фолікулами необхідних розмірів здійснюється проколювання яєчника та отримання яйцеклітин. Процес отримання сперматозоїдів для ЕКЗ зазвичай здійснюється природнім шляхом. Ембріони, отримані шляхом штучного запліднення, культивуються у поживному середовищі. У цьому середовищі відбувається дроблення. Отримані ембріони ретельно відбираються та підсаджуються у матку жінки не пізніше, ніж на п'ятий день після запліднення. Як правило, вноситься декілька ембріонів, щоб збільшити шанси на імплантацію хоча б одного з них. В результаті такого підходу вагітності, що виникли внаслідок штучного запліднення, часто бувають багатоплідними.

Клонування

Робота з позбавленими ядра клітинами та певними їх фрагментами є підґрунтям **клонування** — одержання генетично ідентичних організмів чи клітин. Результатом репродуктивного клонування є отримання окремого клонованого організму.

Основним методом репродуктивного клонування тварин є перенесення ядра соматичної клітини попередньо позбавлену ядра яйцеклітину. Далі здійснюється стимуляція поділу клітини і отриманий ембріон поміщається у матку тварини, що буде виношувати потомство. Новий метод клонування розроблено групою американських вчених у 2004 р. з використанням стовбурових клітин. Ці клітини *плюрипотентні* — здатні диференціюватися у будь-який тип клітин, окрім зовнішніх ембріональних. Основним методом репродуктивного клонування тварин є перенесення ядра соматичної клітини у попередньо позбавлену ядра яйцеклітину.

Для клонування брали ядро соматичної клітини молочної залози вівці та поміщали його у позбавлену ядра яйцеклітину самки того ж виду. В отриманій диплоїдній клітині стимулювалося дроблення. Ембріон, що утворився, підсаджували у матку самки-реципієнта, в організмі якої і проходив подальший розвиток клонованого зародка. Результатом стало народження у 1996 році першої у світі клонованої тварини — вівці Доллі.

Незважаючи на значні успіхи у клонуванні тварин, вченим довелося зіткнутися із низкою проблем, що стосувалися клонованих особин. Такі тварини мають знижену життєздатність, більший відсоток вад внутрішньоутробного розвитку, скорочений термін життя. Доллі загинула у 2003 році, проживши майже вдвічі менше, ніж звичайна вівця.

Маніпуляції зі стовбуровими клітинами є основою *терапевтичного клонування* — отримання окремих тканин та органів. Експерименти з такого клонування мають величезне значення для медицини і складають основу клітинної терапії. Вченими вже вирощено клоновані клітини головного мозку, тканини печінки, рогівку ока. Першим штучно вирощеним органом людини став сечовий міхур, створений із клітин пацієнтів, взятих для цитологічного дослідження. У 2008 році було повідомлено про вирощення серця щура. Вчені видалили м'язову тканину, залишивши утворений із тканин інших типів каркас серця. На цей каркас було перенесено клітини з серця новонародженого щура. Через деякий час ці клітини сформували новий серцевий м'яз. Таке штучне серце володіє всіма властивостями нормального, однак виявляє гіршу працездатність.

Лікування деяких захворювань людини потребує трансплантації органів. Як відомо, імунні механізми, що діють в організмі людини, розпізнають трансплантат як чужорідний і намагаються його знищити, що призводить до відторгнення пересаженого органа. Забір органів у близьких родичів та аналіз великої кількості маркерів тканинної сумісності дозволяє зменшити масштаби цієї проблеми, однак не вирішує її повністю. Зараз активно розробляються методи *виращування органів* з власних клітин хворого, що дозволило б подолати імунологічний конфлікт. Ці методи базуються на експериментах зі стовбуровими клітинами, що зберігають високу здатність до диференціації в різні клітини організму.

Окрім методів вирощування органів з клітин людини, великого поширення набуває розробка *замінників* тканин та органів, створених із сучасних штучних матеріалів. У деяких випадках ці матеріали мають кращі характеристики, ніж природні тканини. Окремою галуззю є створення функціональних протезів кінцівок, що за біомеханічними характеристиками нагадували б справжні ноги та руки.

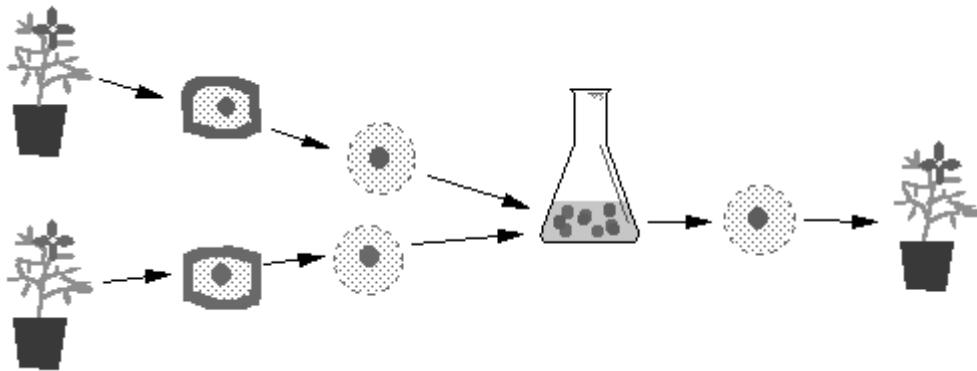
Принципи штучного вирощування рослин у поживних середовищах

Для вивчення живих клітин рослин широко застосовують метод культивування клітин. Дрібні шматочки живої тканини рослини або окремі клітини будь-якого органа переносять у стерильні умови в пробірці у визначене поживне середовище, параметри якого задані експериментатором. За таких умов клітини здатні розмножуватися і виявляти інші ознаки життєдіяльності. У спеціальних камерах, до яких вміщені пробірки, створюють строго регульовані сприятливі умови вологості, освітлення, температури. В результаті з однієї або декількох клітин рослини можна отримати цілий новий організм із властивостями материнської клітини.

Дослідження з культивування клітин і тканин рослин започаткували вчені: американський — Ф. Уайт і французький — Р. Готре. Вони експериментально довели, що ізольовані тканини можуть не лише перебувати, але й рости в спеціально штучно утвореному середовищі, яке містить необхідні для життєдіяльності умови: відповідні речовини, температурний режим тощо.

Клітинна інженерія рослин базується на маніпуляціях з *калусом* — клітинною масою, отриманою шляхом культивування соматичних клітин рослин на спеціальних поживних середовищах; першим з таких поживних середовищ було молоко кокосового горіха, але в наш час використовуються штучні середовища. Окремі клітини, виділені з калусу і висіяні на поживному середовищі, можуть розвиватися у повноцінний рослинний організм. Це можливо завдяки тому, що, на відміну від тварин, будь-яка соматична клітина рослин володіє *тотипотентністю* — здатністю диференціюватися у всі типи клітин.

Позбавивши рослинні клітини клітинної стінки, можна отримати протопласти цих клітин. Їх використовують зокрема для соматичної гібридизації рослинних клітин. Отримавши з гібридних клітин калус, можна добитися розвитку рослинних організмів з гібридним генотипом (мал.36).



Мал. 36. Соматична гібридизація рослинних клітин

Використання культури клітин має значення для розвитку рослинництва (одержання біологічно активних речовин, наприклад, з культури женьшеню, для фармацевтичних і косметичних препаратів), біотехнології (конструювання організмів, наприклад, вирощування рослин із заданими наперед властивостями) тощо. Клітинна інженерія рослин має важливе значення для їх селекції, оскільки дає можливість отримати різноманітні генетичні форми рослин.



1. Які переваги та недоліки штучного запліднення?
2. Які групи клітин потрібно зберегти, щоб згодом була можливість вдатися до терапевтичного клонування?
2. Чи можна стверджувати, що клон є точною генетичною копією материнського організму?

Обговоріть у групах



Спробуйте спрогнозувати розвиток клітинної інженерії росли, тварин чи навіть людини.

Організми і довкілля

Лабораторні дослідження

Моделювання біотичних факторів в екосистемах і пірамід чисел, біомаси та енергії.

Основні терміни та поняття: продуценти, консументи, редуценти, екосистема, трофічний ланцюг (мережа), піраміда екологічна, біосфера, колообіг.

Екологія. Екологічні фактори.

Лімітуючий фактор. Ніша



Запам'ятайте терміни: екологія, екологічний фактор, оптимум, лімітуючий фактор, екологічна ніша

Екологія

Наука, що вивчає взаємодію організмів та надорганізованих систем з оточуючим середовищем, називається екологією. Термін «**екологія**» ввів у 1866 р. у книзі «Загальна морфологія організмів» Ернст Геккель, створивши його із грецьких слів *ойкос* — дім та *логос* — наука. Однак не варто вважати, що історія екології починається лише з моменту опублікування твору Геккеля. Екологічні знання нагромаджувалися впродовж усього періоду розвитку біології. Перший екологічний експеримент з дослідження впливу тиску на живих істот провів у 1670 році Роберт Бойль. Неоціненний внесок у розвиток цієї науки зробили також Карл Лінней, Жан-Батіст Ламарк, Жорж Бюффон та інші. Перший опис біогеохімічного циклу (колообігу Карбону) та розподіл організмів на основні функціональні групи здійснив у 1792 році Антуан Лавуазьє.

У 1875 році Едвард Зюсс ввів термін «**біосфера**», запозичивши його у Ламарка. На початку ХХ століття В.І. Вернадський створив науку біогеохімію, розвинувши з її допомогою вчення про біосферу. У першій половині ХХ століття було дано визначення поняттям «екосистема» та «біогеоценоз». Одним із досягнень останніх років є створення Джеймсом Лавлоком та Лін Маргуліс гіпотези Геї, що розглядає Землю як саморегульовану систему.

Як і кожна галузь біології, екологія володіє низкою **методів дослідження**.

Констатувати характеристики середовища, в якому живуть організми, можливо з допомогою **методів рестрації та оцінки стану середовища** — замірів температури, освітленості, вологості, концентрації шкідливих газів в атмосфері, радіаційного фону тощо. До цієї групи методів належить **моніторинг** — періодичне або неперервне спостереження за станом навколишнього середовища.

Методи кількісної оцінки застосовуються для обліку числа особин або груп особин у популяціях. Також кількісні методи використовують для розрахунку продуктивності, біомаси та інших вимірюваних характеристик екосистеми.

Експериментальні методи дають можливість у лабораторних умовах відтворити та/або змоделювати поведінку організмів за заданого комплексу умов середовища. Дані методи потребують значної кількості лабораторної техніки, часто — конструювання складних штучних екосистем.

Існують екосистеми, процеси в яких неможливо або дуже складно змоделювати за допомогою експериментальних методів. Розвиток інформаційних технологій на даний час дозволяє натомість широко застосовувати в екології **методи математичного моделювання**. З їх допомогою стало можливим у цифровому вигляді відтворювати як самі системи, так і процеси, що в них відбуваються, зокрема, біосферу та її характеристики. На даний час математичне моделювання — група методів, що найбільш динамічно розвивається.

Екологічні фактори

Хоча взаємодія організму і середовища є цілісною, для її вивчення прийнято розділяти на окремі складові. З метою опису та вивчення середовища її властивості умовно розглядають окремо та називають екологічними факторами. **Екологічний фактор** — це окрема характеристика середовища, певне явище, процес або властивість, що може здійснювати вплив на досліджуваний об'єкт.

Фактори середовища можна розглядати з двох точок зору: фізичної та екологічної. З фізичної точки зору фактори розглядаються як самостійні явища, а з екологічної — через їхній вплив на біологічні системи.

Потенційна кількість факторів, які можна виділити, є нескінченною. Залежно від мети дослідження використовують різноманітні класифікації екологічних факторів.

Однією з найважливіших класифікацій факторів є їх поділ на ресурси та умови. Умови впливають на організми і не можуть бути вичерпаними, в той час як ресурси споживаються організмами та вичерпуються при цьому.

Розглянемо також класифікацію, що базується на природі самих факторів.

За цією класифікацією виділяють **абіотичні**, **біотичні** та **антропічні** фактори.

До **абіотичних** належать фактори неживої природи. Серед абіотичних факторів найбільше значення мають кліматичні фактори. Вони пов'язані з процесами, що відбуваються в атмосфері, та небесними тілами, що здатні безпосередньо або опосередковано впливати на Землю та живі організми, що на ній мешкають. Саме оптимальна сукупність цих факторів стала передумовою виникнення на Землі життя.

Для комфортного існування живих організмів потрібний певний діапазон *температури*. В природних зонах з надто високими або низькими температурами різноманітність живого, як правило, нижча ніж у зонах оптимальних температур. Не менш важливим є *сонячне випромінювання*. Активність Сонця полягає у виділенні хвиль різної довжини. В їх числі видиме світло, що забезпечує *освітлення* земної поверхні. Це особливо важливо для рослин, оскільки без світла є неможливим фундаментальний процес їх життєдіяльності — фотосинтез.

Атмосферна волога є джерелом таких абіотичних факторів, як *опад* та *вологість* повітря. Організми виробили низку пристосувань до постійної дії цих факторів у певному діапазоні. Для рослин, окрім вологості повітря, важливим фактором є вологість ґрунту, у якому росте рослина.

Ще одним екологічним фактором, пов'язаним із активністю атмосфери, є вітер — спрямований рух повітряних мас.

Хімічні склади повітряного, водного та ґрунтового середовищ є хімічними абіотичними факторами. Повітря, з якого складається земна атмосфера, містить кисень, що є незамінним для більшості біохімічних процесів аеробних організмів. Живі істоти, що мешкають у середовищах, бідних на кисень (водне, ґрунтове) виробили спеціальні пристосування до існування в таких умовах і максимально ефективного використання усього наявного кисню. Хімічний склад води у водоймах планети різниться перш за все вмістом солей. В залежності від цього вмісту організми виробляють пристосування до збереження гомеостазу.

Характер часточок ґрунту належить до ґрунтових абіотичних факторів.

Біотичні фактори пов'язані із впливом на живі організми інших організмів. Розподіл біотичних факторів здійснюється за типом впливу, що його один організм чинить на інших.

Людина також впливала і продовжує впливати на навколишнє середовище. Особливості людської життєдіяльності дозволяють відвести даному виду окреме місце у системі зв'язків живих істот між собою та з навколишнім середовищем, а фактори, що пов'язані з його діяльністю — в окрему групу **антропічних факторів**. Їх ми розглянемо окремо.

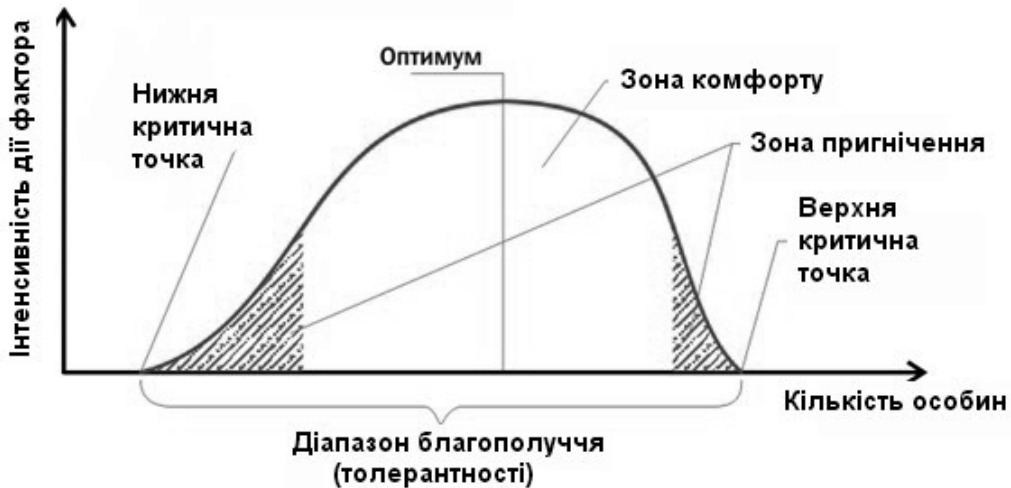
Групи організмів за відношенням до екологічних факторів

Кожний екологічний фактор має певний діапазон впливу. Те значення фактора, яке є найбільш сприятливим для того чи іншого організму, називається оптимумом (мал.37).

Оскільки оптимальні значення факторів для різних організмів є різними, виникла потреба у класифікації організмів за відношенням до екологічних факторів. Розрізняють організми, здатні існувати в широкому діапазоні дії певного фактора (їх позначають приставкою *еври-*, від грец. усюди), та організми з вузьким діапазоном — (їх позначають приставкою *стено-*, від грец. вузький, звужений). Сам фактор може позначатися прикметниковим закінченням: *-термний* (температура), *-гігричний* (вологість) тощо.

Діапазон **температур** на планеті є доволі широким і коливається в залежності від широти місцевості. Для деяких організмів оптимум температури може варіювати у широких межах, внаслідок чого такі організми заселяють велику кількість різних природних зон та кліматич-

них поясів. Такі організми називаються *евритермними*. Для інших, *стенотермних*, навпаки, оптимальним є дуже вузький діапазон температур. Такі види здебільшого мешкають лише в одній кліматичній зоні або в специфічному середовищі з постійною температурою (наприклад, внутрішні паразити ссавців та людини).



Мал. 37. Розподіл особин в залежності від інтенсивності певного фактора

За відношенням до **вологості** організми поділяються на організми, здатні витримувати як посуху, так і підвищену вологість (*евригіричні*), так і організми, що гинуть при значних коливаннях вологості (*стеногіричні* організми). Серед стеногіричних організмів є такі, що пристосовані до низької вологості — наприклад, посухостійкі рослини, та ті, що пристосовані до високої вологості — наприклад, рослини водойм, як показаний на мал. 27 стрілолист.

Для водних тварин та рослин, що мешкають в різних середовищах існування, важливим є фактор **солоності**.

Світло є визначальним екологічним фактором для рослин. Оскільки тварини здатні до активного руху і завдяки цьому можуть змінювати освітленість середовища свого існування, групи, що виділяються за відношенням до світла, стосуються лише рослин. Світлолюбним рослинам для життєдіяльності потрібна велика кількість світла. Рослини, оптимум освітленості для яких лежить в діапазоні низьких значень, називають тіньюлюбамі. Рослини, які потребують світла, але можуть виживати і за низьких значень освітленості, називаються тіньювистривалими.

Лімітуючий фактор

Екологічні фактори впливають на життя організмів комплексно. Однак вирішальним завжди буде той фактор, який присутній у середовищі в найменшій кількості, тобто найбільше відхиляється від свого оптимального значення. Такий фактор називається **обмежуючим**, або лімітуючим. Описана вище закономірність була помічена німецьким вченим Юстусом фон Лібіхом і отримала назву **закону мінімуму Лібіха**. Ілюстрацією даного закону є так звана «*діжка Лібіха*», зроблена із планок різної висоти (мал. 38). Рівень води, наливої у діжку, ніколи не підніметься вище за рівень найкоротшої планки.

У 1913 р. американський еколог Віктор Шелфорд висунув принцип екологічної толерантності, обмеження значень фактора нижньою і верхньою критичними точками, всередині якого можна виділити зони пригнічення та благополуччя. Таким чином, несприятливими (і лімітуючими) можуть бути як високі, так і низькі значення факторів.



Мал. 38. «Діжка Лібіха»

З характеристиками середовища тісно пов'язане поняття **екологічної ніші** — комплексної характеристики способу життя виду, що включає ресурси, які він споживає, а також умови, за яких може існувати. За цим поняттям зручно порівнювати особливості способу життя різних видів. Зокрема, види, що проживають на одній території, але живляться у різний спосіб, займають різні екологічні ніші.



1. Які фактори є лімітуючими в акваріумі? В калюжі? В океані?
2. Які з абіотичних факторів можуть бути лімітуючими для рослин? Для тварин? Для людини?
3. Чи можна сказати, що «відмінники», «хорошисти» та «двієчники» займають в класі різні екологічні ніші?

Обговоріть у групах



Опишіть екологічну нішу якогось виду максимально докладно.

Лімітуючі абіотичні чинники середовищ існування



Запам'ятайте термін: середовище існування

Територія мешкання живих організмів може поділятися на **середовища існування**, що відрізняються одне від одного властивостями та сукупністю екологічних факторів, які діють в межах даних середовищ. Виділяють чотири основні середовища існування: водне, наземно-повітряне, ґрунтове та внутрішнє середовище живих організмів.

Водне середовище

Життя зародилося у Світовому Океані, а отже **водне середовище** було історично першим для живих організмів. Характеристиками даного середовища є висока густина, невеликий діапазон зміни температур, низька розчинність газів, можливість рівномірного розподілу поживних речовин по усьому об'єму середовища, зниження освітленості з глибиною. Внаслідок дії останнього фактора реакції фотосинтезу здійснюються лише організмами, близькими до поверхні. Отже, серед біохімічних реакцій мешканців водного середовища домінуючу роль відіграє дихання. Цим пояснюється перевага різноманітності тваринного світу водою над рослинним. Важливим абіотичним фактором водного середовища є хімічний склад води, зокрема її солоність та кислотність (рівень рН).

Для життя у таких умовах водні організми виробили низку пристосувань. Для пересування та утримання тіла у сталому положенні в умовах високої густини та в'язкості середовища водним організмам слугують різноманітні засоби — вирости тіла, що утримують його в ширяючому положенні, порожнини з газом, включення легкого жиру. Організми, що активно плавають, зазвичай мають тіло обтічної форми та пристосування для відштовхування від води (плавці, ласти) або реактивного руху (порожнини медуз і головоногих моллюсків). Не менш важливою є потреба в орієнтації у середовищі. Брак світла в глибині водойм ускладнює орієнтацію за зором, однак морські тварини можуть орієнтуватися за сигналами від інших органів чуття — сприйняття звуків (в тому числі тих, які не відчуває людське вухо), зміна тиску, хімічного складу середовища, електричних імпульсів тощо.

Рух середовища та організмів у ньому зумовив розвиток фільтраційного типу живлення, притаманного лише водним організмам (від придонних двостулкових моллюсків до китів і китових акул).

Значна частка водних організмів, здебільшого дрібних за розміром, проводить своє життя у товщі води. Ті з них, які плавають пасивно, називаються *планктоном*, а ті, що пересуваються активно — *нектоном*. Назву *нейстону* отримали організми верхніх водних шарів, а *бентосу* — мешканці дна.

Наземно-повітряне середовище

У процесі освоєння суші живі організми повинні були пристосуватися до змінених умов життя, якими характеризувалося **наземно-повітряне середовище**. Порівняно з водою наземне середовище характеризується малою густиною, частим браком вологи, різкими коливаннями температур, рівномірною та значною освітленістю. Завдяки випромінюванню Сонця наземно-повітряне середовище Землі володіє також значним запасом тепла. Оскільки теплопровідність повітря є низькою, живим істотам у наземно-повітряному середовищі, як правило, легше підтримувати температуру тіла, відмінну від навколишньої.

Ще однією важливою особливістю наземно-повітряного середовища є його поділ на дві частини: прозору рухливу з великою кількістю газів та малою — поживних речовин (повітряну) та тверду, з відсутністю світла, малою кількістю газів та великою — поживних речовин (наземну). Такий поділ визначає велику кількість особливостей будови та функціонування наземних організмів — зокрема, рослини, як правило, мають підземну частину, що слугує для мінерального живлення, та надземну, що живиться завдяки фотосинтезу. Організми, які мешкають на землі, як правило, мають певні особливості будови та положення кінцівок і тіла в цілому, що дозволяють цим істотам пересуватися, відштовхуючись від земної поверхні. Організми, більша частина життя яких минає у товщі повітря, натомість, виробили пристосування до польоту. До них належать обтічна форма тіла, полегшений у порівнянні з наземними тваринами скелет, наявність спеціальних органів для польоту, тощо.

Вихід з води на сушу зумовив також інші притаманні наземним організмам пристосування. Зокрема, у хребтних відбувся перехід від зябрового до легеневого дихання, з'явилися механізми терморегуляції, плодові оболонки під час внутрішньоутробного розвитку та ін.

Грунтове середовище

Грунтове середовище існування характеризується високою густиною. Це складна багатозфазна система. Характеристиками даного середовища також є низька освітленість, незначні коливання температур, низький вміст газів. Важливість для мешканців ґрунту його вологості та солоності робить це середовище подібним на водне.

У ґрунті немає організмів великих розмірів. Дрібна безхребетна ґрунтова фауна (бактерії, найпростіші) практично нічим не відрізняється від аналогічної водної. Ці організми здатні цілком вміщатися у ґрунтовій воді.

Тварини середніх розмірів ґрунту представлена переважно членистоногими. Вони переміщуються в ґрунті як у системі невеликих заглибин. Як правило, у таких організмів відбувається спрощення трахей, а дихання здійснюється через зовнішні покриви. Тому ці тварини ґрунту є чутливими до висихання.

Більші за розміром безхребетні (членистоногі та кільчасті черви) пересуваються, проробляючи ходи у товщі ґрунту. Існує низка пристосувань для такого способу руху, більшість з яких полягає

у створенні в тілі тварини значного гідравлічного тиску, під дією якого деформуються часточки ґрунту. Також присутні видозміни зовнішніх органів, наприклад, риючі кінцівки у вовчків.

Ґрунтові хребетні (як правило, ссавці) володіють пристосуваннями до риття ґрунту (риючі кінцівки кротів, різці сліпаків тощо), частково або повністю втраченим зором та формою тіла, що дозволяє їм максимально ефективно пересуватися в ґрунті.

Живий організм

Живий організм є надзвичайно складним для існування середовищем. Як правило, у ньому сприятливі умови та достатньо поживних речовин, однак мешканці (паразити) постійно стикаються зі спротивом самого середовища його заселенню. Ще однією характеристикою живого організму як середовища існування є те, що таке середовище не є неперервним (порівняйте зі Світовим океаном або повітряним простором), тож паразитам доводиться постійно заселяти нові організми та пристосовуватися таким чином, щоб не виникло перенаселення (яке спричинить загибель хазяїна).

Пристосування паразитів до життя в середовищі іншого організму є надзвичайно різноманітними. До них належать вдосконалення шляхів пересування, способів закріплення, протидії імунній системі господаря, розмноження тощо. При цьому ті системи органів, які не функціонують в умовах великої кількості одних та відсутності інших факторів, спрощуються або повністю зникають.



1. Наведіть приклади живих організмів, про які йдеться в підтемах цієї теми.
2. Створіть порівняльну таблицю середовищ існування та впливу абіотичних факторів на живі організми в них.

Обговоріть у групах



Чи можуть організми, пристосовані до одного середовища існування, згодом перейти до існування в іншому середовищі?

Угрупування. Екологічні системи. Біосфера



Запам'ятайте терміни: угруповання (біоценоз), ярусність, екосистема, продуценти, консументи, редуценти, біосфера

Угрупування. Склад і структура угруповань

Жоден живий організм не існує у природі ізольовано. Як правило, життєдіяльність одного організму тісно пов'язана з життям інших, що проживають поруч. Така сукупність живих організмів, що тривалий час проживають на одній території, називається **угрупованням (біоценозом)**. В межах угруповання здійснюються взаємодії між популяціями живих організмів.

У результаті спільної еволюції види угруповання пристосовуються один до одного. Через це угруповання мають характерний видовий склад і певне співвідношення організмів, що по-різному реагують на дію екологічних факторів та виконують в угрупованні різні ролі.

Функціонування біоценозу складається з діяльності особин, що його складають, але є більш ніж їх сумою. Ефективність угруповання тим вища, чим більш злагоджено взаємодіють його компоненти.

Угрупування характеризуються за рядом ознак.

Видовою структурою угруповання називають множину видів, з яких складається біоценоз. Видову структуру угруповання характеризує перш за все *видове різноманіття* — видове багатство в угрупованні. Воно є тим більшим, чим більшою є кількість видів у біоценозі. Зокрема, у невеликому гаю, де росте багато видів рослин та водяться тварини різних видів, різноманіття буде великим. На великій ділянці степу, вкритого лише травою та заселеного тваринами лише декількох видів, різноманіття буде малим.

Просторова структура біоценозу — це особливості розташування особин одна відносно одної. Прикладом просторової структури є *ярусність* — вертикальна структура рослинних угру-

повань, що складаються із рослин, різних за висотою, — зокрема, мішані та широколисті ліси (мал. 39).



Мал. 39. Ліс — екосистема з ярусністю: нижній ярус — трав'янисті рослини, середній — кущі, верхній — дерева.

Екосистеми та їх компоненти

Екологія вивчає різні рівні біологічних систем, однак найбільше уваги приділяється дослідженню екосистемного рівня. **Екосистема (біогеоценоз)** — це сукупність живих організмів та середовища їх існування, у межах якої здійснюється колообіг речовин та перетворення потоку енергії. Іншими словами можна сказати, що екосистема складається з **угруповання** та місця проживання — **біотопу**.

Основними компонентами екосистеми прийнято вважати такі:

- **Неорганічні речовини.** До них, зокрема, належить вода і розчинені в ній мінеральні солі, суміш газів атмосфери — повітря, мінерали, що знаходяться на Землі у твердому стані тощо.
- Загальний стан **органічної речовини** — детрит.
- **Середовище** — водне, повітряно-наземне, ґрунтове.
- **Групи організмів** за їх екологічною роллю:
 - **Продуценти** — організми, здатні синтезувати органічні речовини із неорганічних.
 - **Консументи** — організми, що перетворюють органічну речовину з однієї форми в іншу. Поділяються на кілька родів: консументи першого роду харчуються рослинами та іншими продуцентами, консументи другого роду — консументами першого роду, консументи третього роду — консументами другого і так далі.
 - **Редуценти** — організми, що перетворюють органічну речовину на неорганічну.

За способом живлення організми поділяються на **автотрофів**, здатних самостійно синтезувати органічні речовини з неорганічних із залученням зовнішніх джерел енергії та **гетеротрофів**, здатних отримувати енергію лише з органічних речовин інших організмів.

Автотрофне живлення може здійснюватися двома різними способами — шляхом **фотосинтезу** та **хемосинтезу**. Ці способи різняться лише джерелом енергії, що витрачається на процес синтезу — енергія сонячного світла у фотосинтетиків та хімічних зв'язків у хемосинтетиків.

У земних екосистемах роль продуцентів виконують рослини і бактерії, що здатні до фотосинтезу та хемосинтезу. Функцію консументів виконують тварини та деякі хижі протисти. Редуцентами є гриби та мікроорганізми.



1. Яку роль відіграють в екосистемі продуценти, консументи та редуценти?
2. Який екологічний фактор є причиною формування ярусності лісів?

Обговоріть у групах



Чи можуть існувати екосистеми без організмів, що виконують одну з ролей?

Біотичні фактори: зв'язки між організмами. Харчові ланцюги та екологічні піраміди



Запам'ятайте терміни: мутуалізм, хижацтво, паразитизм, конкуренція, піраміди чисел, біомаси, енергії; трофічний ланцюг та трофічна мережа

Взаємодії організмів в екосистемах

Біосистеми різних рівнів здатні взаємодіяти одна з одною. Говорячи про взаємодії між організмами в екосистемах, правильніше було б називати такі зв'язки взаємодіями між популяціями. Саме в популяціях реалізація даних зв'язків призводить до еволюційних змін і, як наслідок, до покращення характеристик виду.

Такі взаємодії поділяються на *прямі* та *опосередковані*. Коли взаємодії між популяціями здійснюються через взаємодії між окремими особинами, такі зв'язки називаються *прямими*. При опосередкованих взаємодіях особини напряду не взаємодіють між собою, однак впливають одна на одну через деякі компоненти власної життєдіяльності або середовища. Зокрема, популяції тварин можуть впливати одна на одну через ресурс, що виробляється однією з популяцій. Такий спосіб взаємодії називається опосередкованим *через середовище*. Взаємодії, опосередковані *через популяції*, виникають тоді, коли обидві популяції перебувають у харчовій або іншій залежності від третьої.

Взаємовигідні відносини між популяціями, при яких дані популяції зустрічаються у природі лише разом, називаються мутуалістичними. **Мутуалізм** виникає лише тоді, коли екологічні ніші обох популяцій-учасників процесу є різними. Як правило, побічні продукти життєдіяльності одного учасника мутуалізму є ресурсом для іншого або ж кожен учасник отримує більш цінний для себе ресурс, а віддає менш цінний.

Мутуалістичні зв'язки широко розповсюджені у природі. Вони мають також еволюційне значення — так, перехід рослин до наземного способу життя став можливим лише завдяки взаємовигідним відносинам між рослинами та грибами або бактеріями. У сучасних екосистемах прикладом такої взаємодії може слугувати співжиття азотфіксуючих бактерій та бобових рослин. У тварин співжиття з бактеріями компенсує нездатність організму до здійснення певних біохімічних реакцій. Зокрема, травоядні тварини перебувають у мутуалістичних зв'язках із мікроорганізмами, що здатні переробляти целюлозу. Подібні зв'язки спостерігаються також у термітів.

У випадку коли взаємовигідні відносини не є обов'язковими для нормальної життєдіяльності популяції у природі, їх взаємозв'язок називається **протокооперацією**. Доволі часто складно буває розрізнити мутуалізм та протокооперацію. Як правило, висновок про належність взаємозв'язку до того чи іншого типу роблять на основі детального вивчення життєдіяльності обох учасників в залежності та окремо один від одного.

Взаємовідносини, за яких один вид отримує користь від співжиття, а інший не зазнає жодного позитивного або негативного впливу, називаються **коменсалізмом**. Як правило, коменсал використовує ті продукти життєдіяльності господаря, виробіток яких не пов'язаний із окремими затратами та є результатом звичних фізіологічних процесів. Наприклад, поживою для коменсала можуть слугувати мертві рештки тіл господарів або відходи їх життєдіяльності. Зокрема, риба-прилипала харчується рештками від їжі, яку споживає акула або інша хижа риба. Результатом коменсалізму може бути також *транспортування* коменсала господарем. Так, насіння рослин може переноситися тваринами, а дрібні тварини можуть подорожувати, прикріплюючись до тіл більших.

Типи взаємовідносин, які характеризуються позитивними наслідками для одного учасника та негативними для іншого, об'єднані під назвою хижацтва, або **експлуатації**. Поняття «хижак» в широкому сенсі (експлуататор) включає в себе не лише тварин, що харчуються іншими тваринами шляхом їх безпосереднього поїдання, а й живих істот, які не убивають жертву зразу, однак завдають їй відчутної шкоди. Виділяють чотири типи хижаків:

- справжні хижаки, що зразу вбивають свою здобич (хижі звірі, комахи, головоногі молюски і так далі);

- організми, що поїдають лише частину жертви, не обов'язково спричинюючи її смерть (травоїдні тварини, п'явки, кровосисні комахи);
- живі істоти, що відбирають частину ресурсів господаря і не обов'язково спричинюють його загибель (віруси, гельмінти, рослини омела та повитиця, паразитичні найпростіші — трипаносома, лямблія тощо);
- організми, що відкладають яйця в тіло або гніздо жертви. Личинки, що виходять з цих яєць, поїдають жертву, а отже, спричинюють її смерть. Наприклад, це піщані оси, їзди тощо.

Взаємодії, за яких зростання чисельності одного виду-учасника спричиняє падіння чисельності іншого, називаються конкурентними. **Конкуренція** може здійснюватися прямо або опосередковано — через ресурс (їжу, територію, світло тощо), на який претендують обидва види.

Крайньою формою конкуренції є **аменсалізм** — тип взаємозв'язку, в якому одна популяція зазнає негативного впливу іншої, нечутливої до взаємовідносин. Прикладом аменсалізму може слугувати затінення деревами трав'янистих рослин, знищення дрібних тварин під час пересування великих тощо.

Моделювання взаємодії організмів в екосистемах

Для передбачення результатів взаємодій в межах екосистеми застосовують математичні моделі.

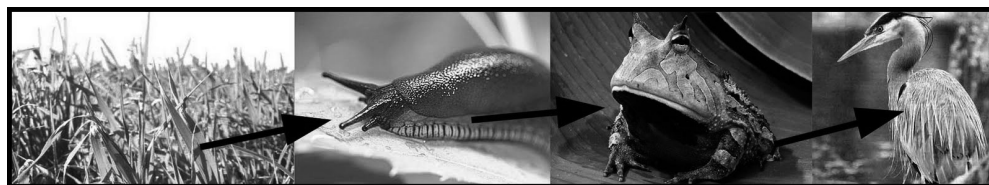
У 1925 році італійський математик Віто Вольтерра зацікавився популяційною динамікою риб. Наслідком цього стала низка експериментів, що призвели до створення моделей опису внутрішньовидової взаємодії. Ці моделі базуються на розрахунках взаємозв'язків між кількістю їжі, чисельністю видів, що поїдають її та одне одного та співвідношенням цієї чисельності. Дані моделі виявились дуже близькими до тих, що їх розробив хімік Лотка для опису ланцюгових реакцій. Тому подібний тип моделей називають моделлю Лотки-Вольтерри.

Ланцюги живлення та екологічні піраміди

Передача речовин та перетворення енергії в екосистемах здійснюється завдяки живленню організмів. Глобальні процеси, що забезпечують життєдіяльність біосфери та створюють можливість існування людства, пов'язані із живленням великої кількості різноманітних живих істот. Живі організми живляться самі та слугують поживою для інших живих істот. Взаємовідносини між ними, що ґрунтуються на живленні, називаються **трофічними зв'язками**.

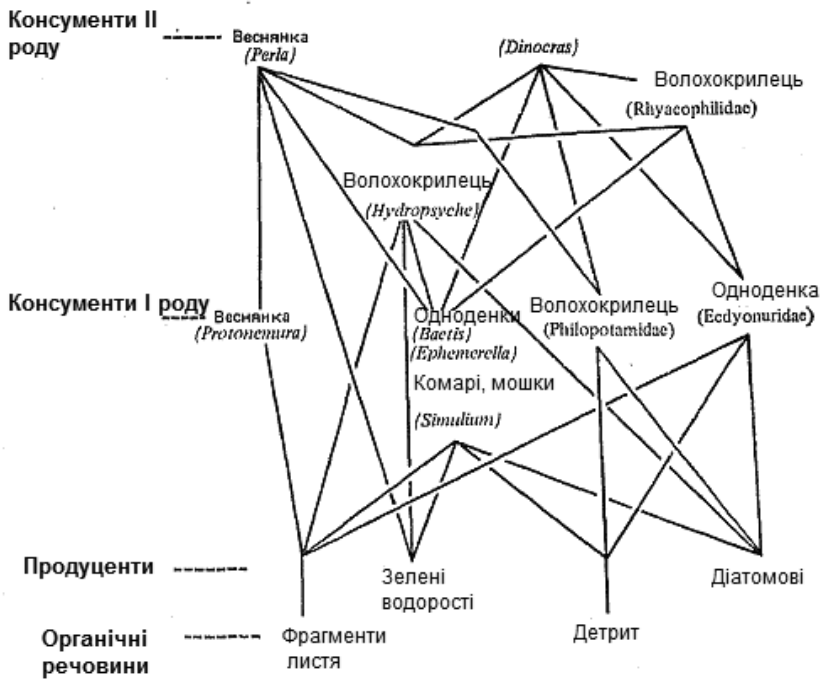
Трофічний ланцюг — це шлях перенесення органічної речовини та енергії, що міститься у ній, через послідовність організмів, що поїдають одне одного.

Існує два типи трофічних ланцюгів. Одні з них починаються від зелених рослин та йдуть до травоїдних, а потім і хижих тварин. Такі ланцюги називаються **пасовищними** (мал. 40). **Детритні** ланцюги ведуть від детриту (мертвої органічної речовини) до організмів, що його поїдають. В межах ланцюга відбуваються взаємопов'язані процеси продукції енергії шляхом фотосинтезу та її витрати у вигляді дихання.



Мал. 40. Трофічний ланцюг

Трофічні ланцюги не є автономними. Досить часто спостерігається участь однієї живої істоти у ланцюгах різного типу. В рамках екосистеми такі ланцюги формують сукупність взаємодій, що називається **трофічною мережею** (мал. 41).



Мал. 41. Частина харчової мережі струмка у Південному Уельсі










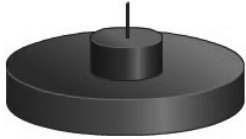


Трофічним рівнем називається сукупність організмів угруповання, що отримують енергію Сонця після однакової кількості перетворень. Першим трофічним рівнем є продуценти. Їх поїдають консументи I роду, утворюючи другий трофічний рівень. Консументи I роду слугують поживою для консументів II роду (третій рівень), ті — для консументів III роду і так далі. Ці рівні не є жорстко закріпленими характеристиками — один і той же організм в межах однієї екосистеми може бути консументом різних родів.

Спосіб графічного відображення взаємозв'язків між трофічними рівнями в екосистемах називається **екологічною пірамідою** (мал. 42). Як правило, даний метод використовують для опису пасовищних трофічних ланцюгів. Існує кілька типів екологічних пірамід.

Піраміди чисельності (чисел) слугують для відображення чисельності популяцій організмів, що є ланками трофічного ланцюга. Якщо чисельність організмів зменшується з кожним наступним рівнем, піраміду називають правильною, якщо навпаки — перевернутою. Піраміди чисельності дещо перебільшують значення малих за розмірами організмів, чисельність яких доволі висока.

Для зображення переходу органічної речовини з одного рівня на інший використовуються **піраміди біомас**. Як правило, вони є правильними. Для деяких водних екосистем характерні перевернуті піраміди біомаси — наприклад, у водних екосистемах біомаса консументів значно перевищує біомасу продуцентів. Це пов'язано з тим, що піраміди біомаси перебільшують роль великих за розмірами організмів, що накопичують біомасу протягом кількох років (десятиліть).

Через різні трофічні ланки проходить різна кількість енергії. На основі даних про біомасу ланок трофічних ланцюгів та швидкість їх зміни можна побудувати **піраміду енергії**. Така піраміда завжди є правильною, адже базується на законах термодинаміки: під час кожного перетворення енергії її частина розсіюється у вигляді тепла.

Екосистема	Піраміда чисел	Піраміда біомаси	Піраміда енергії
			
			
			

Мал. 42. Екологічні піраміди різних типів у трьох екосистемах: степ, ліс та відкритий океан

Як і енергія, біомаса з переходом на вищий рівень піраміди витрачається. Цей факт покладено в основу правила екологічної піраміди: кількість біомаси та енергії значно зменшується з переходом від кожного попереднього рівня піраміди до наступного. На підставі цього було сформульовано **правило десяти відсотків**: при переході з одного трофічного рівня на інший на ріст організмів використовується приблизно 10% (від 4 до 20%) енергії, що міститься в їжі.



1. Складіть порівняльну таблицю способів міжвидової взаємодії різних організмів, вказавши символами +, -, 0 вплив від взаємодії для одного та другого видів. Наприклад, хижацтво: «+, -» — один з організмів отримує вигоду (їжа), іншого з'їдають.
2. Складіть схеми трофічних ланцюгів (мереж) лісу, степу, ставка.

Обговоріть у групах



Часто кажуть, що хижаки з їхніми жертвами (а також паразити з господарями) перебувають у постійній «гонці озброєнь». Наведіть приклади такої «гонки озброєнь».

Розвиток і зміни природних співтовариств. Сукцесія



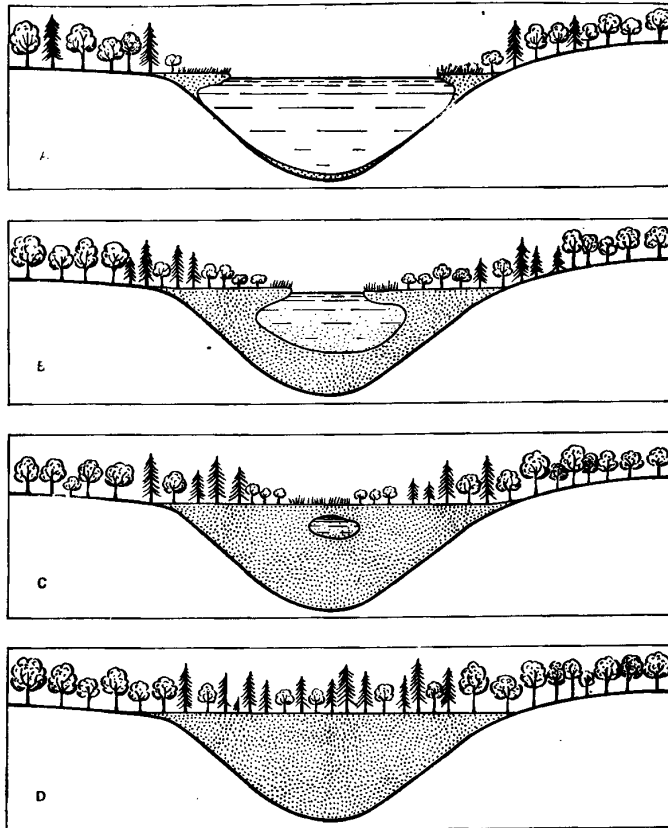
Запам'ятайте терміни: сукцесія, первинна сукцесія, вторинна сукцесія

Розвиток і зміни екосистем

Штучні екосистеми, покинуті людиною, поступово переживають заселення сторонніми видами і, як наслідок, «дичавіють». Луки можуть поступово заростати деревами і перетворюватися на гаї. Будь яка екосистема, що не потерпає від зовнішнього втручання, здатна змінюватися. Знаючи швидкість таких змін, можна зробити висновок про те, упродовж якого часу вони здійснювалися.

Послідовна зміна угруповань в одному біотопі (місці проживання біоценозу) називається сукцесією (мал. 43). **Сукцесії** — процеси більш тривалі, ніж сезонні зміни, однак тривають набагато менше часу, ніж еволюційні зміни в екосистемах; їхня тривалість в межах десятків або сотень років. Причинами сукцесій є зміни у біотопах під дією зовнішніх факторів, взаємодії між компо-

нентами угруповань, у деяких випадках — втручання з боку людини. Сукцесії — це спрямовані процеси, що контролюються угрупованням та призводять до певного результату. Перехідні стадії, що виникають упродовж сукцесії називають *серійними угрупованнями*. Врешті решт екосистема приходить до остаточного стабільного стану, який називається *клімаксімним угрупованням*.



Мал. 43. Сукцесія при заростанні озера. В маленькому озері за умов прохолодного та вологого клімату рослинність просувається в напрямку від берегів до центру. Процес продовжується, і озеро старіє (В і С). Через кілька століть після того, як озеро буде заповнене детритом (торфом), воно заросте лісом (D).

Початкові умови виникнення сукцесій можуть бути різними. Зокрема, на пустирях та голих скелях спершу поселяються організми, здатні руйнувати гірську породу за допомогою продуктів своєї життєдіяльності. Як правило це лишайники. Діяльність даних організмів призводить до вивітрювання породи та формування ґрунту. Ґрунт заселяється рослинами, в результаті життєдіяльності яких формується перегній, що покращує родючість ґрунту. Врешті решт місцевість заселяється чагарниками та деревами. В даному випадку екосистема формувалася на території, що першопочатково була позбавлена будь-якої органічної речовини, будь-яких слідів попередніх екосистем. Таку сукцесію називають **первинною**.

Сукцесія, що відбувається на базі екосистем, у яких органічна речовина була наявною, називаються **вторинною**. Прикладом такої екосистеми може бути згаріще лісу. Незважаючи на знищення вогнем усіх живих організмів екосистеми, в ґрунті залишається коріння дерев, насіння деяких рослин, дрібні організми. Попіл, що утворюється внаслідок горіння стебел рослин, служить джерелом мінеральних солей та підвищує родючість ґрунту. Перші серійні угруповання у такій сукцесії складаються із трав'янистих рослин. В подальшому в екосистему вводяться чагарники та дерева.

В екосистемах, що розвиваються в подібних умовах середовища, характеристики кліматичного угруповання перебувають у залежності від локальних умов.



1. Яка сукцесія — первинна чи вторинна — показана на мал. 43? За якими ознаками ви це встановили?
2. Які властивості притаманні рослинам, що формують перші серійні угруповання в ході сукцесії?
3. Як впливають на швидкість процесів під час сукцесії абіотичні фактори?

Обговоріть у групах



Порівняйте штучну екосистему (наприклад, пшеничне поле) з природними екосистемами та їхніми змінами під час сукцесії. На які з екосистем — на ті, що розпочинають сукцесію (перші серійні угруповання) чи на стабільні (клімаксні) екосистеми — схоже поле? За якими ознаками?

Різноманіття природних і штучних співтовариств



Запам'ятайте терміни: біом, продукція, продуктивність

Існують *природні* та *штучні* екосистеми. Природні екосистеми виникли унаслідок тривалого розвитку організмів поруч один з одним в певному середовищі. Штучні екосистеми створюються людиною для реалізації певних потреб. Основні відмінності між природними та штучними екосистемами є такими:

- природні екосистеми характеризуються великим видовим різноманіттям. Число видів у штучній екосистемі, як правило, є малим;
- розподіл видів у природній екосистемі є рівномірним. У штучній, к правило, домінує один або кілька видів;
- ланцюги живлення у штучній екосистемі є коротшими, ніж у природній;
- колообіг речовин та енергії у природній екосистемі, як правило, проходить у її межах. Колообіг у штучній екосистемі є незамкненим — значна частина біомаси виноситься людиною за межі екосистеми;
- природні екосистеми можуть довгий час існувати без втручання людини. Для штучних екосистем таке існування неможливе.

Прикладами штучних екосистем є поле, парк, рибний ставок, акваріум тощо.

Продуктивність біомів

Живі організми, що входять до складу екосистем, здатні утворювати та переробляти органічну речовину. Сумарна маса всіх організмів усього угруповання або окремого виду називається **біомасою**. До складу біомаси входять тіла організмів повністю, включаючи відмерлі частки — деревину, скинуту шкіру, роги тощо. **Продукція** — кількість відтвореної біомаси на одиницю площі (або об'єму) за одиницю часу. Кількість органічної речовини, утворена автотрофами (продуцентами), називається *первинною продукцією*, а утворена гетеротрофами (консументами та редуцентами) — *вторинною*. Швидкість продукції речовини в екосистемі називається **продуктивністю**.

Екосистеми планети об'єднані у **біоми** — сукупності екосистем однієї природно-кліматичної зони. Основними наземними біомами є тундра, тайга, листопадні ліси, степ, савана, пустеля, тропічні ліси; прісноводними — стоячі, текучі води та болота. До солонowodних біомів належить пелагіаль (відкриті океанічні та морські води), зони апвелінгу (місця, де глибинні води океану піднімаються на поверхню), шельф (прибережна зона) та естуарії (зони змішування морських та річкових вод).

У 1964-1974 рр. у світі здійснювався узгоджений збір даних про продуктивність екосистем та фактори, що впливають на неї. Цей збір здійснювався у межах Міжнародної біологічної

програми ООН. Упродовж десяти років група спеціалістів по всьому світу визначала площі екосистем, вимірювала їх продуктивність та вираховувала загальну кількість виробленої речовини. На основі досліджень біоценози Землі поділено за продуктивністю на чотири типи:

- угруповання вищої продуктивності (2000-3000 г/м²·рік). До таких угруповань належать посіви цукрової тростини, деяких інших культур та тропічні ліси;
- угруповання високої продуктивності (1000-2000 г/м²·рік). Угруповання цього типу — ліси помірного поясу, луки, посіви кукурудзи.
- угруповання помірної продуктивності (1000-250 г/м²·рік). Це переважно агроценози, а також чагарники та степи;
- угруповання низької продуктивності (менш ніж 250 г/м²·рік). До них належать пустелі та тундри.

Водні екосистеми, як правило, є менш продуктивними, ніж наземні. Це пов'язано з тим, що на поверхні планети росте більше великих рослин з вираженою диференціацією тканин. На більшості території суші продуктивність обмежується браком води, а у водних біомах — браком біогенів. В арктичних районах продуктивність суші є низькою через короткі періоди фотосинтезу, зумовлені холодами; продуктивність же океану у цих широтах є високою завдяки перемішуванню шарів води та надходженню біогенів. В тропічному поясі більша частина суші зайнята пустелями, а відкритий океан є малопродуктивним. Винятками є рифи, тропічні ліси, естуарії тощо.

Продуктивність наземних екосистем обернено пропорційна широті, тобто падає від екватора до полюсів. Залежність продуктивності від географічного положення у морських біотопах складніша і залежить від течій, які приносять біогенні речовини, та розчинності газів у воді, а також деяких інших чинників.

Біоми

Як вже було зазначено, живі організми планети об'єднуються в угруповання (біоценози), що є компонентами екосистем. Сукупність екосистем однієї природно-кліматичної зони називають **біомом**. Межі біомів залишаються сталими, хоча за зміни умов середовища вони можуть змінюватися (наприклад, наступ пустель в Африці або зменшення площі екваторіальних лісів Амазонії), а самі біоми — перекриватися.

Суша та гідросфера мають різні типи біомів. Основними наземними біомами є такі:

Тундра — біом холодного вологого клімату, що характеризується від'ємними значеннями середньорічних температур, невеликою кількістю опадів та шаром вічної мерзлоти під ґрунтами. Окрім арктичної тундри, що розташована у високих широтах, існує альпійська тундра — високогірний біом, що виникає на значних висотах унаслідок явища висотної по-ясності. Для тундри характерна бідна рослинність — мохи, лишайники, трав'янисті рослини та чагарнички.

Тайга — ще один біом холодного клімату, однак, на відміну від тундри, характеризується наявністю лісів. Для широт, у яких розташована тайга, характерні довгі сніжні зими та кількість опадів, що перевищує випаровування. Видова різноманітність лісів є доволі бідною, основні породи дерев — хвойні.

Листопадний ліс — біом помірного кліматичного поясу. Оподи перевищують випаровування, розподіляються рівномірно, посухи відсутні. Внаслідок скорочення довжини світлового дня восени відбувається опадання листя. Видова різноманітність лісів висока, спостерігається ярусність.

Степ — біом напівпосушливої зони помірного кліматичного поясу, у якому домінує трав'яниста рослинність. Випаровування перевищує кількість опадів. Трави утворюють щільний дерен, що, перегниваючи, формує шар багатих на гумус ґрунтів — чорноземів.

Савана — біом тропічного клімату, характеризується наявністю злаково-деревних угруповань, у яких масиви дерев та чагарників мозаїчно розташовані серед трав. Чинником формування такого біому є різке чергування посушливих та вологих сезонів.

Пустелі — група біомів різних кліматичних поясів, розташованих у місцевостях з вкрай низькими значеннями вологості та/або температури. Окрім пустель тропічного поясу, іс-

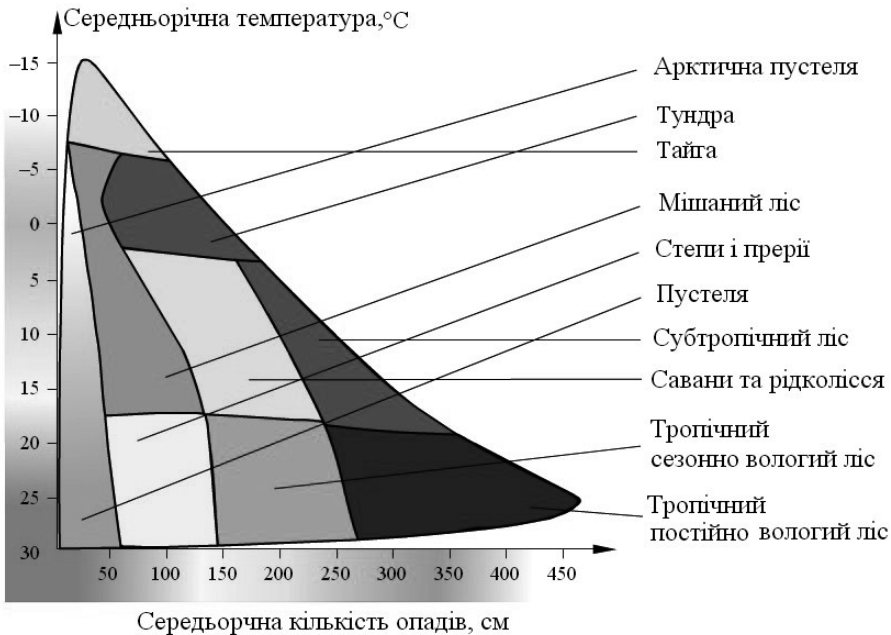
нують арктичні та альпійські пустелі. Характеризуються бідною рослинністю та значним переважанням випаровування над опадами.

Чапараль — чагарниковий біом середземноморського клімату, сформований твердолистяними чагарниками. У заростях цих чагарників накопичується велика маса сухої деревини, що призводить до періодичних пожеж.

Сезонний тропічний ліс — біом областей із жарким кліматом та рясними нерівномірно розподіленими опадами.

Вічнозелений дощовий ліс — найбагатший на види біом, розташований у регіонах з великою кількістю опадів та практично постійною температурою. У цих лісах зосереджено 4/5 усіх видів рослин Землі.

Розподіл біомів залежить від кліматичних факторів (мал. 44).



Мал. 44. Біомі та кліматичні фактори

Велика кількість водойм на планеті уможливила виникнення стабільних **водних біомів**. На відміну від біомів суші, водні поділяються на дві групи залежно від солоності води.

До **біомів прісної води** належать:

Стоячі води — калюжі, ставки, озера, водосховища. Умови життя визначаються у першу чергу глибиною (і, як наслідок, освітленістю) та наявністю біогенних речовин. Досить часто обмін біогенами між поверхнею та глибиною є утрудненим.

Текучі води — струмки, потоки та річки. Умови життя визначаються швидкістю течії. Здатні переміщувати велику кількість води і біогенів. Текучі водойми значною мірою пов'язані з оточуючими наземними системами.

Болота — біомі помірною поясу з великою кількістю органічної речовини. Внаслідок браку кисню у воді руйнування цієї речовини утруднене та відбувається повільно.

Морськими біомами є:

Пелагіаль — відкритий океан та морські глибини, віддалені від узбереж. Продуценти зосереджені в поверхневому освітленому шарі води. Біогени неперервно опускаються з поверхні у глибину.

Континентальний шельф — прибережна зона морів та океанів (приблизно до глибини 200 метрів). Спостерігається велике різноманіття видів та екосистем.

Зони **апвелінгу** — невеликі місцини у Світовому Океані, де відбувається підйом біогенних речовин на поверхню внаслідок перемішування шарів води під дією вітрів або виходу глибинних течій.

Естуарії — місця змішування річкових та морських вод. Наслідком такого змішування є наявність великої кількості органіки та постійні коливання солоності, до чого змушені пристосовуватися мешканці цього біому.

Різні біоми відрізняються між собою за продукцією біомаси. Біомаса усіх біомів планети складає біомасу біосфери. Загальна біомаса біосфери складає приблизно $2,5\text{--}3 \times 10^{18}$ т.



1. Ви збираєтесь виміряти продукцію та продуктивність на дослідницькій ділянці біля школи. В яких одиницях вимірюються ці показники?
2. Які лімітуючі фактори обмежують продуктивність різних біомів?
3. За мал. 44 поясніть, чому за однакової середньорічної температури формуються такі різні біоми?

Обговоріть у групах



Знайдіть у додаткових джерелах дані про продуктивність та продукцію основних біомів суші та води, а також відсоток площі Землі, який вони займають. Представте дані у вигляді діаграми різних типів так, щоб підкреслити, які з біомів більш продуктивні.

Вчення про біосферу. Речовина і енергія в біосфері



Запам'ятайте терміни: біосфера

Загальна характеристика біосфери

Уявлення про сукупність живих організмів Землі як комплексну систему висловлювалися багатьма вченими. Австрійський дослідник Едуард Зюсс у 1875 році ввів для позначення цієї системи термін «біосфера», але цілісне вчення про біосферу створив В.І. Вернадський.

В даний момент **біосферу** визначають як одну з оболонок Землі, характеристики якої визначаються сукупною діяльністю всіх живих організмів планети.

Компонентами біосфери є всі середовища, заселені живими організмами, або змінені внаслідок їхньої діяльності — тобто нижня частина атмосфери, гідросфера та верхня частина літосфери.

Значення **атмосфери** для живих організмів полягає перш за все у захисті від шкідливого космічного випромінювання. Огортаючи поверхню планети, атмосфера виконує ще одну важливу функцію — утримує коливання температур на Землі у відносно вузьких, сприятливих для розвитку живих організмів, межах. Використовуються організмами і деякі гази, що є компонентами атмосфери, зокрема, кисень, азот і вуглекислий газ. Деякі з цих газів, перш за все кисень, з'явилися в атмосфері лише завдяки живим організмам.

Тісно пов'язаною з атмосферою оболонкою Землі є **гідросфера**. До її складу входять не лише солоні та прісні води земних водойм від Світового Океану до калюжі, а й льодовики, що вкривають полюси планети та гірські вершини, підземні води та атмосферна волога. Водойми планети є середовищем існування великої кількості різноманітних живих організмів. Біологічні процеси, що відбуваються в угрупованнях цих організмів, можуть також впливати на характеристики оточуючого водного середовища, а отже, через колообіг води на планеті — і на інші живі організми.

Атмосфера за своїм агрегатним станом є газоподібною, а гідросфера — рідкою. Верхньою ж твердою оболонкою Землі є **літосфера**, а верхнім її шаром — земна кора. Саме ця оболонка є джерелом багатьох макро- та мікроелементів, необхідних живим організмам для здійснення життєдіяльності. Елементи покидають літосферу під впливом низки геологічних та біологічних процесів та потрапляють у живі організми прямо або опосередковано через трофічні ланцюги.

Сукупність усіх живих організмів планети прийнято називати **живою речовиною** біосфери. Земля заселена двома групами живих організмів — автотрофами та гетеротрофами. Їх діяльність виражена у формі двох протилежних процесів — утворення та розкладання органіки. Співвідношення між цими процесами називається **екологічним балансом**. Фундаментальною властивістю біосфери є додатний результат балансу — переважання у ньому процесу синтезу органічних сполук завдяки фотосинтезу.

Вчення В.І.Вернадського про біосферу

Формулюючи визначення біосфери, Едуард Зюсс назвав цю систему «тонкою плівкою життя, що вкриває Землю», тобто виключно живих істот, що мешкають на поверхні планети. Ключова роль у розумінні біосфери як вищого рівня організації живих систем належить В.І. Вернадському.

Фундаментальним поняттям вчення В.І. Вернадського про біосферу стало поняття **речовини біосфери**. На відміну від Зюсса, Вернадський розглядав цю речовину як багатоконпонентну систему із складними зв'язками між компонентами. Таким чином, за В.І. Вернадським до складу біосфери має відноситися не тільки сукупність живих істот, а й змінене ними середовище існування, продукти діяльності різних організмів у літосфері, атмосфері та гідросфері.

Вчений виділяв кілька складових речовини на Землі, найбільш важливими серед котрих є:

- **жива речовина** — усі живі організми, що проживають на планеті;
- **біогенна речовина** — нежива речовина, що утворилася внаслідок діяльності живих організмів (вугілля, вапняк, нафта);
- **затверділа речовина** — нежива речовина абіогенного походження;
- **біозатверділа речовина** — речовина, що створювалася одночасно і живими організмами, і затверділою речовиною (грунт).

Усі ці типи речовин пов'язані між собою геохімічними зв'язками. Важливість наукових поглядів Вернадського полягає у тому, що він уперше виділив роль живої речовини у формуванні цих зв'язків.

За Вернадським, жива речовина у масштабах планети виконує певні функції. Ці функції забезпечують здійснення біогеохімічних циклів та перетворення енергії і, як наслідок, стабільність біосфери. Вчений виділив такі функції живої речовини:

Енергетична функція живої речовини полягає у перетворенні та акумулюванні енергії Сонця зеленими рослинами, що здійснюють фотосинтез, і подальшому передаванні цієї енергії через трофічні ланцюги гетеротрофним організмам. Енергетичну функцію виконують також бактерії-хемосинтетики, що перетворюють та акумулюють енергію хімічних зв'язків. У подальшому накопичена енергія може переходити у недоступні форми (тепло) або накопичуватися (резервуватися) у формі енергоємних корисних копалин.

Рослини виконують ще одну важливу для біосфери функцію — **газову**. У процесі фотосинтезу вони поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень — саме так на ранніх етапах розвитку планети відбулося збагачення атмосфери киснем, що уможливило вихід життя на сушу. Як і тварини, під час дихання рослини виділяють вуглекислий газ та поглинають кисень, таким чином підтримуючи баланс газів в атмосфері.

Вже згадані хемотрофні бактерії можуть виконувати **окисно-відновну функцію**. Усі їх енергетичні реакції пов'язані із зміною ступеня окиснення елементів у хімічних сполуках. Здійснюючи ці перетворення, бактерії переводять елементи у різноманітні хімічні форми. Деякі з цих форм утворюють поклади гірських порід, змінюючи таким чином склад та структуру літосфери.

Здатність живих організмів до накопичення хімічних сполук у своїх тілах уможливила виконання ними **концентраційної функції**. Зокрема, у черепашках безхребетних містяться сполуки Карбону, Фосфору, Кальцію, Силіцію та інших елементів. Кальцій накопичується також у вегетативних органах деяких рослин. Морські мешканці запасують значні кількості Йоду. Усі ці речовини у подальших біогеохімічних процесах здатні переходити у склад літосфери та утворювати гірські породи.

Наступним важливим аспектом вчення Вернадського про біосферу є уявлення про **розвиток** останньої. Передумовою для розвитку біосфери вчений вважав формування літосфери, на базі якої виник живий світ. Вернадський відзначав, геологічна історія планети не знала

часових проміжків, що були б повністю позбавленими життя. а отже жива речовина кожного періоду пов'язана із попередніми її формами. Живу речовину дослідник також називав основним фактором переміщення елементів у літосфері.



1. Чи відрізняються межі біосфери «за Зюсом» та біосфери «за Вернадським»?
2. Наведіть приклади різних складових речовини на Землі. Які з складових, на вашу думку, є на Марсі? На Венері?

Обговоріть у групах



Які з покладів корисних копалин утворилися завдяки діяльності живих організмів чи екосистем?

Глобальні біогеохімічні цикли



Запам'ятайте терміни: колообіг, фонд, потік

Колообіг речовин і потік енергії в екосистемах

В межах кожної екосистеми між її компонентами відбувається обмін речовиною, енергією та інформацією. Зміни у перших двох підпорядковуються законам збереження маси та енергії. Однак принцип дії цих законів для маси та енергії різний. Речовина може нескінченно переходити з однієї форми в іншу, розпадатися на атоми та молекули. Ці атоми та молекули входять до складу нових речовин, таким чином нескінченно мігруючи.

На відміну від речовини, енергія при кожному своєму перетворенні частково переходить у стан, який неможливо використати для виконання роботи — зокрема, в тепло. Коефіцієнт корисної дії будь-якого перетворення енергії не може бути більшим або дорівнювати 100%. Отже, можна говорити про **колообіг речовини** в природі, але не про колообіг **енергії** — лише про її **потік** в межах системи.

Біогеохімічні цикли

Елементний склад живих організмів є дуже різноманітним. Найважливішими для живих істот хімічними елементами є так звані **біогени**. До них належить приблизно половина хімічних елементів земної кори. Серед біогенів найважливішими є *органогени* — елементи, з атомів яких побудовані всі органічні сполуки (С, Н, N, O), *макроелементи* (P, S, Cl, Ca, K, Mg, Fe, Na, Cu, Zn) та *мікроелементи* (V, Mo, B, Co, Si, Se, Cr, Ni, I, F, Sn, As та інші).

Для того, щоб організми могли включати ці елементи до свого складу, потрібно, щоб вони знаходилися в середовищі в доступній формі. Наприклад, Нітроген у вигляді атмосферного азоту не засвоюється живими організмами напряму. Включення його до біохімічних процесів можливе лише завдяки діяльності бактерій роду *Rhizobium*, що перебувають у симбіозі з корінням бобових рослин. Атоми Нітрогену, які бактерії фіксують з азоту повітря, спочатку включається в обмін речовин бобових рослин, а потім через трофічні ланцюги — у метаболізм інших живих істот.

Рано чи пізно атоми біогенів покидають межі живого організму та переходять у зовнішнє середовище. Для підтримання сталого елементного складу організмів на місці цих атомів повинні прийти нові. Таким чином процес включення в та виключення з організму елементів є неперервним та циклічним. Сукупність відносно замкнених шляхів переміщення речовин через живі організми та середовище їх існування називається **біогеохімічним циклом**. Переміщення елементів в ході біогеохімічного циклу є можливим завдяки трьом основним джерелам енергії:

1. **Енергії Сонця, перетворена атмосферою та гідросферою.** Сонце обігріває земну поверхню — як сушу, так і воду. Суша під сонячним промінням нагрівається, а вода — випаровується. Внаслідок такого нерівномірного нагрівання відбувається переміщення повітряних мас, що призводить до циркуляції води у масштабах планети.

2. **Енергія Сонця, накопичена через фотосинтез.** Фотосинтез є найважливішим процесом для накопичення енергії живими організмами. Автотрофи здійснюють цей процес і через трофічні ланцюги передають накопичену енергію гетеротрофам.

3. **Енергія самої планети Земля.** Як відомо, літосферні плити, на яких розташовані континенти, перебувають у неперервному русі. Процеси, що супроводжують даний рух, призводять до підйому елементів на поверхню планети, де вони піддаються вивітрюванню і внаслідок цього можуть використовуватися живими організмами. Наслідком тектонічних рухів плит є також осадовий цикл — переміщення біогенів з живої речовини в осадові породи.

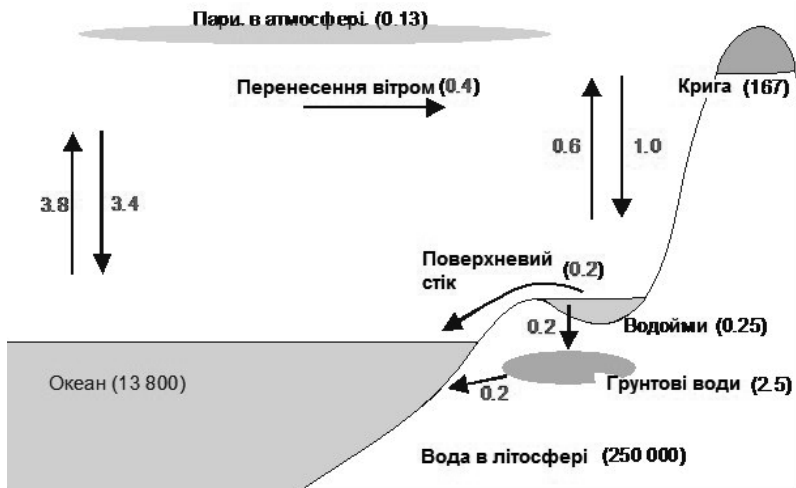
Колообіг речовин в біосфері

У біосфері спостерігаються глобальні біогеохімічні цикли. Потік енергії у біосфері спостерігається постійно. Колообіг речовин та притік сонячної енергії є основами існування біосфери.

Біогеохімічні цикли включають в себе **фонди** — сукупності речовин, що містять певний елемент у певній формі та **потоки** — шляхи перетворення елемента, внаслідок яких він переходить між фондами. Існують **обмінні фонди**, у яких перехід речовини відбувається стрімко і часто, та **резервні**, у яких такі процеси відбуваються повільно. Ті цикли, у яких є резервні фонди у атмосфері та гідросфері, ефективніше регулюються живими організмами. Людина своєю господарською діяльністю значно втручається у біогеохімічні цикли, що призводить до порушення балансу перетворення речовини та енергії.

Колообіг води. Одним із наймасштабніших глобальних біогеохімічних циклів є колообіг води (мал. 45). Вода на Землі здебільшого зосереджена у Світовому Океані. Нагрівання поверхні Світового Океану сонячними променями призводить до масштабного випаровування води в атмосферу. Випарувана вода транспортується рухомими повітряними масами. Частина цієї води у вигляді опадів потрапляє на сушу. Там вона потрапляє у ґрунт, а звідти — у підземні води, а також у річки та інші прісні водойми. Воду з ґрунту використовують здебільшого рослини та гриби, а з прісних водойм — тварини. Частина наземної води повертається у Світовий Океан через річки, що впадають у моря, а частина — знову переходить в атмосферу завдяки випаровуванню (транспірації) рослин, а також диханню та виділенню тварин. Та частина води, що потрапляє в атмосферу над Світовим океаном, з опадами повертається до нього безпосередньо.

Можна зробити висновок, що колообіг води підтримується взаємодією фізичних та біологічних процесів. Роль живих організмів, зокрема, рослин у підтриманні даного циклу зводиться не лише до транспірації. Так, рослини утримують воду у ґрунті та регулюють стікання її до річок.

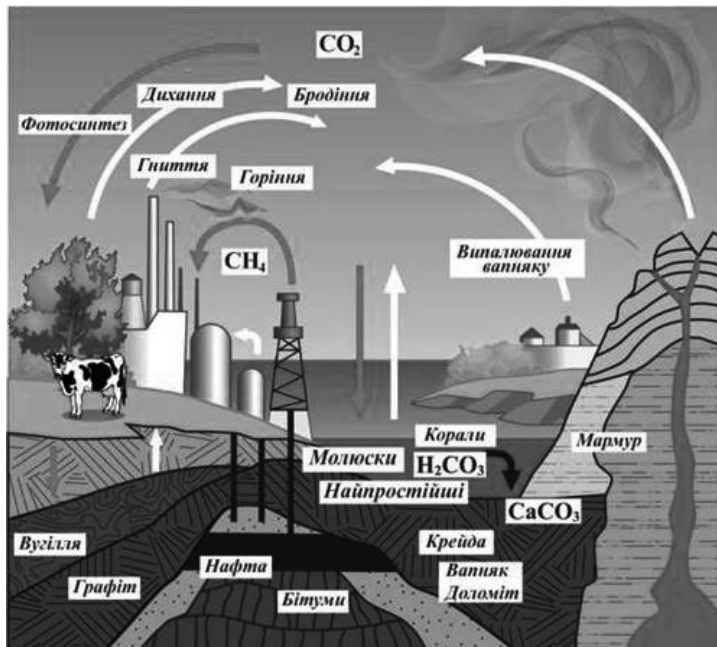


Мал. 45. Колообіг води: чорні цифри — фонди колообігу (у 10¹⁴ тон), сірим — потоки (у 10¹⁴ тон на рік)

Колообіг Карбону. Карбон є основою органічних сполук, тому цикл Карбону має особливе значення для живих організмів. Найважливішою особливістю даного циклу є наявність запасів вуглекислого газу CO_2 в атмосфері, звідки його можуть поглинати живі організми (мал.46).

Серед живих організмів основними споживачами сполук Карбону неорганічного походження є рослини. У процесі фотосинтезу вони засвоюють атмосферний вуглекислий газ та перетворюють його в органічні сполуки, перш за все глюкозу. Карбон в органічних сполуках через трофічні ланцюги потрапляє до організмів тварин, де виконує велику кількість функцій, в тому числі структурну — побудови самого організму. У деяких безхребетних Карбон у вигляді неорганічних сполук (карбонатів) виконує функцію зміцнення опорних структур — його сполуки відкладаються у черепашках молюсків та найпростіших, коралів у коралових рифах тощо.

З іншого боку, Карбон у складі вуглекислого газу активно виділяється у процесі дихання живих організмів. Перехід Карбону у компоненти неживої природи здійснюється шляхом формування покладів його твердих сполук. Такі відклади у подальшому перетворюються у поклади гірських порід, перш за все вапняку. Вивітрювання цих порід повертає сполуки Карбону у доступну для живих організмів форму, однак відбувається це дуже повільно. Отже, біогеохімічний цикл Карбону є доволі нерівномірним і незамкненим.



Мал. 46. Колообіг Карбону

Колообіг Нітрогену. Нітроген є надзвичайно важливим для живих організмів, у першу чергу тому, що є невід’ємним компонентом амінокислот, із яких складаються білки. Основною сполукою, в якій акумульований Нітроген повітря, є атмосферний азот. Хоча вміст азоту в атмосфері є у сотні разів вищим, ніж вміст вуглекислого газу, засвоєння живими організмами азоту відбувається набагато менш активно. Це пов’язано з тим, що Нітроген у формі молекули азоту є хімічно інертним і не може засвоюватися живими істотами. Формами, у яких Нітроген може включатися у реакції метаболізму живих організмів, перш за все — рослин, є йони амонію та нітрат-йони. Амоній є більш вигідним для рослин з хімічної точки зору, оскільки така форма є ближчою до тієї, в якій Нітроген міститься в амінокислотах. Однак у великих кількостях амоній є токсичним для рослин, а нітрати — ні.

Фіксація Нітрогену у доступні для живих організмів форми здійснюється бактеріями. Серед них можуть бути як вільноживучі, так і симбіонти (наприклад, бульбочкові бактерії на корінні бобових рослин).

Нітроген з повітря може фіксуватися також без участі живих організмів, так званим абіогенним шляхом. Зокрема, це може відбуватися під дією сильного електричного розряду — удару блискавки.

Вилучення сполук Нітрогену з ґрунту відбувається швидше, ніж його фіксація. Особливо великих масштабів це набуває у межах штучних екосистем — посівів культурних рослин. Тому людина вводить сполуки Нітрогену у ґрунт штучно. Засоби, що містять такі сполуки, називаються азотними добривами. Такі добрива можуть бути природними (гній свійських тварин) та штучними. Також повернення сполук Нітрогену у ґрунт забезпечується діяльністю редуцентів, що розкладають білки, з яких складаються тіла живих організмів.

Колообіг Фосфору. Ще одним ключовим компонентом біомолекул є Фосфор. Доступними для живих організмів сполуки Фосфору, що містяться у літосфері, стають унаслідок підйому гірських порід на поверхню планети з подальшим їх вивітрюванням. Сполуки Фосфору потрапляють до рослин через ґрунт і передаються далі по трофічних ланцюгах. Повернення цих сполук у ґрунт відбувається завдяки діяльності редуцентів. Частина фосфоровмісних сполук змивається в Світовий Океан.

Водні організми теж засвоюють та виділяють Фосфор. Частина сполук цього елемента в океані осідає на дно та повертається до складу гірських порід.



1. Намалуйте схему колообігу Нітрогену, позначивши на ній основні потоки та фонди.
2. Спробуйте описати колообіг Оксигену.
3. Який з наведених колообігів в найбільшому ступені залежить від діяльності живих організмів?

Обговоріть у групах



Наведіть приклади того, як людина впливає на потоки та фонди колообігів елементів. Як вона збільшує фонди? Зменшує? Як вона прискорює певні потоки? Пригальмує?

Еволюція органічного світу

Лабораторні дослідження

Побудова філогенетичних дерев. Моделювання стрічок часу викопних організмів. Моделі процесів, що впливали на антропогенез. Моделі чисельності людства та епідемій.

Проект

Виявлення рівня антропогенного впливу в екосистемах своєї місцевості.

Основні терміни та поняття: вид, популяція, еволюція, природний добір, конвергенція, дивергенція, паралелізм.

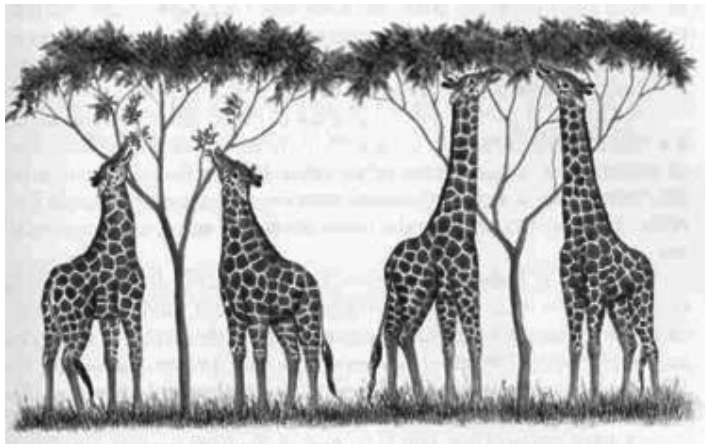
Ч. Дарвін і його теорія еволюції



Запам'ятайте терміни: еволюція, природний добір, боротьба за існування

Спроби зрозуміти систему живого світу у процесі її розвитку здійснювалися людством з самих початків розвитку наукової думки. Питання походження життя, змінності видів та їх розвитку упродовж довгого часу були дискусійними. Деякі з них залишаються такими і по сьогоднішній день. Процес розвитку живого отримав назву **еволюції**.

Вперше рушійні сили еволюції були у XVIII сторіччі розглянуті французьким вченим **Жаном-Батістом де Ламарком**. Учений вважав, що факторів, які визначають розвиток живих організмів, два: прагнення істот до самовдосконалення та вплив умов зовнішнього середовища. Зокрема, розвиток корисних характеристик у тварин Ламарк вважав наслідком постійного вправлення окремих їх органів, викликаного необхідністю тим чи іншим чином взаємодіяти із зовнішнім середовищем (мал. 47). На думку Ламарка, такі характеристики можуть передаватися у спадок нащадкам організмів, що зазнали змін, таким чином приводячи до вдосконалення виду в цілому.



Мал. 47. Жирафи вдосконалюють будову шиї, тягнучись до їжі (за Ламарком)

Визначний внесок у розвиток поглядів на еволюцію зробив **Чарльз Дарвін**. Будучи членом природодослідних експедицій, Дарвін мав можливість вивчати флору та фауну різноманітних місцевостей, порівнювати подібні види між собою та робити висновки про їх виникнення та розвиток. Намагаючись обґрунтувати мінливість видів, Дарвін дійшов до висновку про значну роль природного добору та боротьби за існування у процесі розвитку видів. Особини з корисними у певних умовах ознаками є успішними у цій боротьбі, проходять природний добір та залишають потомство, яке успадковує цю ознаку. Таким чином поступово змінюються окремі особини та вид у цілому.

Людину Дарвін вважав закономірним результатом еволюції приматів, підтверджуючи походження людини від мавпи. Вчений стверджував наявність вимерлих перехідних форм від мавпи до людини.

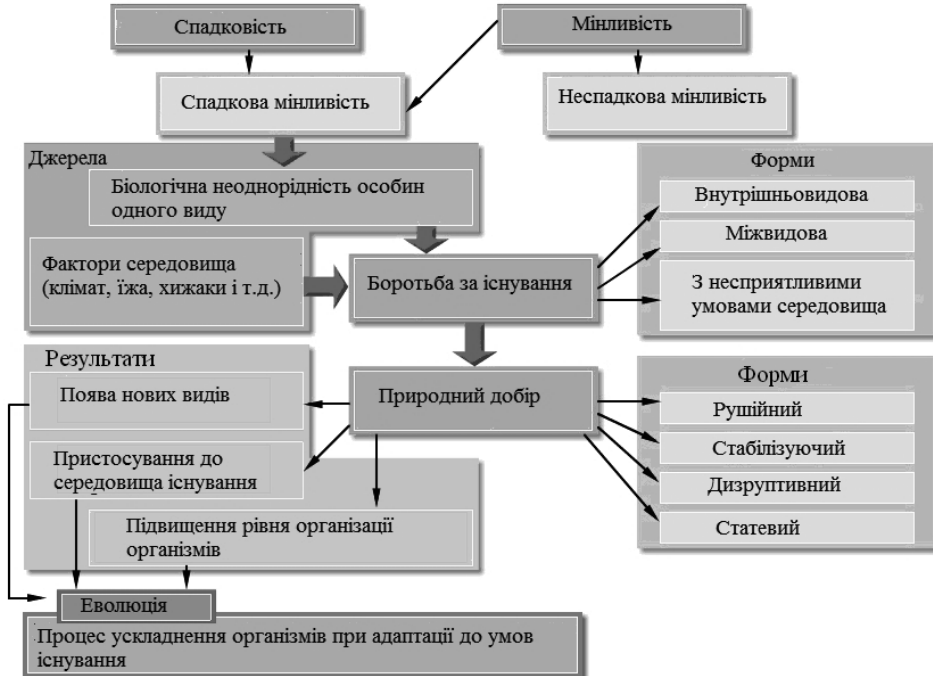
На початку ХХ ст. стала на тлі бурхливого розвитку генетики почали накоплюватися певні суперечності між класичною теорією Дарвіна та новими відомостями про характер спадковості. Зокрема, сам Дарвін так і не зміг спростувати «жахіття Дженкіна» — зауваження свого колеги Флемінга Дженкіна про те, що нова ознака, котра виникла в одного організму, не змогла б призвести до змін цілого виду. Відтак еволюційна теорія вимагала врахування усіх нововідкритих фактів та закономірностей, що стали підґрунтям для розвитку цілих нових наук. Ця потреба зумовила виникнення нової системи поглядів на еволюцію, названої *синтетичною теорією еволюції*.

Природний добір та його форми

Основними факторами еволюції Чарльз Дарвін вважав спадкову мінливість, боротьбу за існування та природний добір (мал. 48).

Досліджуючи різні види мінливості, Дарвін поділив це явище на визначену (неспадкову) та **невизначену (спадкову) мінливість**. Прояви неспадкової мінливості виникають під дією певного фактора середовища і зникають з припиненням дії цього фактора. Прояви ж спадкової мінливості індивідуальні і передаються наступним поколінням. Саме останню Дарвін вважав джерелом еволюційних змін. Однак, на думку Дарвіна, самі спадкові зміни не мають здатності пристосовувати організми до умов середовища. Такі пристосування виникають лише під дією на організми боротьби за існування та природного добору.

Чарльз Дарвін висловив думку про те, що кількість організмів є великою, а ресурси, на які вони можуть претендувати (їжа, територія, сховища) — обмеженими. Саме тому організми вступають між собою у конкурентну **боротьбу за існування**, унаслідок якої виживають більш пристосовані особини. Така боротьба існує між особинами одного виду (*внутрішньовидова*), різних видів (*міжвидова*) та різних груп організмів з *несприятливими умовами* самого середовища.



Мал. 48. Фактори еволюції

Боротьба організмів за існування призводить до виживання більш пристосованих та загибелі менш пристосованих до певного комплексу умов середовища організмів. Це явище

називають **природним добром**. На відміну від штучного добору, що здійснюється людиною і має чітко визначений результат, природний добір відбувається в напрямку, який визначають фактори середовища разом із зміненими ознаками самого організму і його результатом є найбільш вигідна у даних умовах форма.

Існують такі форми природного добору:

Рушійний. Є наслідком впливу спрямованих змін факторів середовища. Особини, певні ознаки яких є відхиленням від середнього значення, у нових умовах можуть зайняти більш вигідне положення, аніж особини, що були пристосовані до попереднього комплексу умов. Корисними, як правило, є відхилення лише в один бік від середнього. Тиск добору спрямований на зміщення середнього значення ознаки. Прикладом такої форми добору є явище індустріального меланізму у метелика березового п'ядуна, що було спостережене в Англії. У нормі ці метелики мають білий колір крил, що дозволяє їм маскуватися на білій корі берези. Гази, що є відходами діяльності промислових підприємств Англії, призвели до потемніння стовбурів берез. У нових умовах білі метелики ставали легкою здобиччю для хижаків, а виживали і давали потомство темні метелики. За деякий час вони й стали складати більшість популяції.

Стабілізуючий. За певного комплексу умов найбільш пристосованими виявляються особини з середнім значенням певної ознаки. Тиск добору у цьому випадку спрямований на видалення з популяції (елімінацію) особин з крайніми значеннями ознаки. Такий добір характерний для незмінних умов середовища. У кінці 50-х рр. XX ст. у Росії сталася сильна буря, у яку потрапила зграя горобців. Багато птахів загинуло. Досліджуючи загиблих горобців, учені виявили, що серед них багато птахів із дуже довгими або дуже короткими крильми і майже немає особин із середнім значенням довжини крила. Отже, саме таке значення забезпечило виживання птахів у критичних умовах.

Розриваючий, або дизруптивний. У деяких випадках умови середовища сприяють закріпленню двох різних варіантів ознак, відмінних від середнього значення. Особини з середнім значенням ознаки при цьому елімуються. Такий добір веде до формування різних рас одного виду. Рослини, що ростуть на сіножатях, піддаються викошуванню і можуть не встигнути дати потомство. Розмножуються лише ті рослини, які цвітуть або перед сінокосом, або після нього. Тривалий добір призводить до формування рано- та пізньоквітучих раз таких рослин.

Значна роль в еволюції тваринного світу належить **статевому добору**, що спрямований на успіх у приваблюванні особин протилежної статі та подальшому розмноженні. Багато тварин виробляють для цього спеціальні пристосування. Зокрема, самці птахів (райські птахи, павичі) характеризуються яскравим забарвленням, що приваблює самицю. Це забарвлення може бути як сезонним, так і постійним.

Особини з недостатніми проявами важливих для виду ознак позбавляються шансу на продовження роду, відтак їхні гени не закріплюються серед нащадків.



1. Чому теорія Дарвіна виявилася революційною для свого часу?
2. В яких умовах діє стабілізуючий добір? Рушійний? Дизруптивний?

Обговоріть у групах



Чи діє природний добір на сучасну людину? Аргументуйте.

Вид. Виникнення видів. Вид та мікроеволюція



Запам'ятайте терміни: вид, критерії виду, видоутворення

Концепції і визначення виду

Упродовж розвитку еволюційної науки сформувалося декілька концепцій виду. Ряд учених, зокрема видатний шведський систематик Карл Лінней, вважали вид реально існуючою

категорією, яка є незмінною з часів створення світу. Мінливість у даній концепції пояснювалася варіацією у певних межах стійкого комплексу певних ознак.

На противагу їй, Ламарк та деякі інші вчені розглядали вид як штучну категорію, придуману людиною для власної зручності. Реальними вважалися лише особини, що фактично існують у природі.

Згідно з **біологічною** концепцією виду, вид складається не з окремих особин, а з відносно постійних груп — популяцій. Окремий організм є генетично замкнутим, а отже, надходження до нього нових генів неможливе. На відміну від організму, популяція — генетично відкрита, до неї постійно потрапляють нові гени. Вид у цілому, знову ж таки є генетично замкнутим, і не може схрещуватися з іншими видами. Схрещування у межах самого виду здійснюється вільно і є одним із рушіїв мінливості. Окрім цього, всі особини одного і того ж виду єдині екологічно, тобто займають одну і ту ж екологічну нішу.

Загальноприйнятого визначення виду не розроблено. На даний момент біологічним **видом** вважають сукупність популяцій особин, що вільно схрещуються між собою, здатних до схрещування з утворенням плідного потомства; таку, що характеризується наявністю подібних ознак, окремого ареалу та екологічної ніші.

Критерії виду

Існує певна кількість ознак, за якими можна відрізнити один вид від іншого. Такі ознаки, що дозволяють виявити спільність та відмінність рис особин, що належать до того чи іншого виду, називаються **критеріями**. Виділяють такі критерії виду:

Морфологічний — подібність особин виду за зовнішньою чи внутрішньою будовою (форма та забарвлення тіла та окремих його частин, розташування органів, тощо). Належність більшості відомих нам особин рослин і тварин до певного виду ми визначаємо за їх загальною відповідністю відомій нам сукупності ознак представників цього виду. Види, що практично не відрізняються між собою за морфологічним критерієм, однак відрізняються за рештою, називаються *видами-двійниками*.

Фізіологічний — схожість фізіологічних процесів у особин одного виду. Особливо важливою є подібність процесів розмноження, внаслідок чого при схрещуванні особин виду між собою народжується плідне потомство. В той же час різні близькі види можуть мати фізіологічні механізми ізоляції у процесі розмноження.

Біохімічний — базується на подібності біохімічного складу та процесів у представників виду. Як правило, ферменти та інші білки організмів одного виду схожі між собою. За змінами в амінокислотному складі цих білків можна простежити хід еволюції певного виду.

Генетичний — дозволяє визначити належність особин до одного і того ж виду на основі подібності їх спадкового матеріалу — кількості та форми хромосом, наявності специфічних послідовностей у ДНК, тощо. Деякі види-двійники різняться між собою лише кількістю хромосом у каріотипі.

Географічний — наявність у виду певного ареалу мешкання. Межі ареалу можуть бути як дуже широкими, так і дуже вузькими. Види, поширені на великій території, називаються космополітами. Види, що мешкають лише в окремій невеликій місцевості, називаються ендеміками. В Україні, особливо на території Карпат та Криму, мешкає декілька десятків ендемічних видів рослин та тварин (мал. 49).

Екологічний — спільність для всіх особин виду займаної екологічної ніші. Існує низка видів-двійників рослин, що відрізняються між собою здатністю рости на різних типах ґрунтів; тварин, різниця між якими полягає у різниці способів харчування тощо. Деякі види не мають жорсткої екологічної спеціалізації. Перш за все це види, що супроводжують діяльність людини.

Для достовірного підтвердження належності групи особин до окремого виду недостатньо проаналізувати відповідність лише одному критерію. Лише аналіз на відповідність більшості (нерідко усім) критеріям може показати об'єктивну картину.



Мал. 49. Нечуйвітер чаклунський (*Hieracium stygium*) — ендемік Карпатських гір

Фактори видоутворення

Основним фактором виокремлення нових видів є ізоляція. Існує декілька форм ізоляції, кожна з яких розділяє популяції предкового виду, призводячи до поглиблення відмінностей між ними, і, як наслідок, утворення нових видів.

Географічна ізоляція виникає унаслідок появи між популяціями значної фізичної перешкоди, що унеможливорює пересування та спілкування особин розділених популяцій. Такою перешкодою може бути водойма, гірський хребет, провалля тощо. Під час льодовикового періоду льодовик розділив значну кількість популяцій тварин та рослин, призвівши до утворення нових видів.

За **екологічної ізоляції** різні популяції проживають на одній території, однак займають різні екотопи, унаслідок чого представники різних популяцій не стикаються одне з одним. Наприклад, різні види дубів у Північній Америці ростуть на ґрунтах різного складу; два близькі види європейських жаб розмножуються з різницею в місяць. У лабораторних умовах вони здатні утворювати гібриди, та в природі ніколи не схрещуються. В деяких видів в якості механізму ізоляції виступає різниця в поведінкових реакціях тварин (перш за все, таких, що супроводжують шлюбні ритуали: внаслідок цього шанси зацікавити самку чи самця іншого виду є надзвичайно низькими і схрещування не відбувається).

Усі механізми ізоляції в кінцевому результаті призводять до **генетичної ізоляції** особин.

Форми видоутворення

Процес формування нового виду носить назву **видоутворення**.

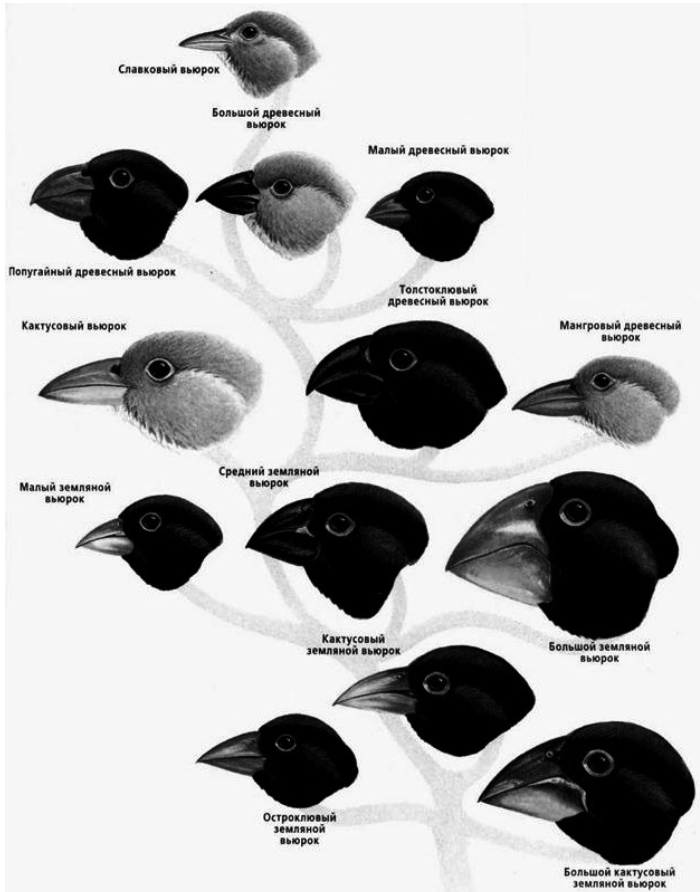
Географічне, або алопатричне видоутворення (від лат. *allos* — різний, *patria* — батьківщина) відбувається за умов географічної ізоляції популяцій. Опинившись у різних місцевостях внаслідок виникнення перешкоди, популяції починають змінюватися. Це відбувається внаслідок різного проходження в ізольованих популяціях мутаційного процесу.

Прикладом алопатричного видоутворення є різні види в'юроків, досліджені Дарвіном на Галапагоських островах. Еволюція в ізольованих на кожному острові популяціях в'юроків привела до утворення нових видів (мал.50). В той же час предком усіх цих видів є вид в'юроків, що мешкає на континенті.

Екологічне, або симпатричне видоутворення (від лат. *sim* — такий, тотожний, *patria* — батьківщина) пов'язане із процесами репродуктивної ізоляції популяцій. Існує декілька теорій виникнення такої ізоляції — внаслідок хромосомних перебудов, різниці в екологічній спеціалізації популяцій, гібридогенного видоутворення (утворення нового виду внаслідок ви-

падкового успішного схрещування особин різних видів тощо). Результатом однак є неможливість вільного схрещування між ізольованими популяціями, а також подальше проходження мутаційного процесу та природного добору на його основі у різних напрямках. Зокрема, у африканському озері Вікторія мешкає кількасот видів риб-цихлід, що відрізняються між собою за низкою ознак, однак всі походять від одного предкового виду.

Різні способи видоутворення не є відділеними одне від одного. Часто виникнення нового виду є результатом тривалої взаємодії цих способів.



Мал. 50. Різні види в'юроків, які виникли внаслідок адаптації до різної їжі на окремих островах Галапагоського архіпелагу

Мікроеволюція

Процес мікроеволюції полягає у зміні частот фенотипових ознак та алелів, що їх визначають, у популяції. Такі зміни ведуть до змін всередині самого виду і, як наслідок, до видоутворення.

Мікроеволюційні зміни у популяціях відбуваються під впливом низки елементарних еволюційних факторів: мутаційного процесу, комбінативної мінливості, перенесення та дрейфу генів, «ефекту засновника», популяційних хвиль, ізоляції, природного добору тощо. Всі ці фактори призводять до зміни частот алелів у популяції. Таким чином елементарним матеріалом мікроеволюції є *мутації*, а елементарною одиницею мікроеволюційного процесу — *популяція*. Внаслідок дії природного добору на піддані таким змінам популяції відбувається їх диференціація з подальшим утворенням нового виду. Вищенаведені факти є базою синтетичної теорії еволюції.

Концепцію мікроеволюції та видоутворення як її результату стало можливим розробити лише після відокремлення генетики як галузі біологічної науки. Особливо велика роль у створенні підґрунтя для досліджень мікроеволюційного процесу належить популяційній генетиці та відкритим її методами закономірностям формування співвідношень між частотами алелів та ознак у популяції.



1. Оберіть вид та схарактеризуйте його за критеріями виду.
2. В яких випадках застосування одного (або кількох) критеріїв виду не дає достатньої інформації, чи належать дві особини до одного біологічного виду? Як зміниться відповідь, якщо будуть порівнюватися не особини, а популяції?
3. Як ви гадаєте, який зі способів видоутворення є більш поширеним в природі?

Обговоріть у групах



Які механізми ізолюють окремі популяції людини від інших? Наведіть приклади. Чи може з таких популяцій утворитися кілька самостійних видів?

Види та адаптації



Запам'ятайте терміни: адаптація, приховуюче забарвлення, розмежовуюче забарвлення, застережне забарвлення, загрозове забарвлення, мімікрія, поведінкова адаптація

Адаптації та умови їх виникнення

У процесі розвитку виду в організмів формуються певні пристосування до умов, у яких проживає даний вид. Такі пристосування називаються **адаптаціями**. Чарльз Дарвін висловлював думку про те, що внаслідок природного добору кожен організм прямує до все більшого удосконалення відповідно до умов середовища, які його оточують. Таке вдосконалення, на думку Дарвіна, повинне неминуче призвести до підвищення рівня організації організму.

Адаптації завжди виникають у відповідь на певне екологічне завдання. Це зумовлює відносний характер адаптацій — їх наявність є вигідною для організмів лише у певній сукупності умов зовнішнього середовища. Наприклад, коники-стрибунці, що живуть у траві, мають зелене забарвлення, що дозволяє їм залишатися непомітними лише на тлі зелених рослин. В іншому місці проживання (пустеля, стовбури дерев тощо) це забарвлення не мало б адаптивної функції.

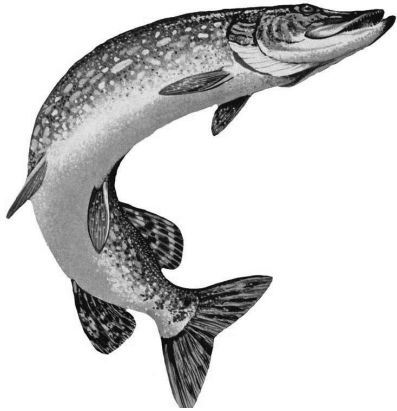
Види адаптацій

У відповідь на умови середовища організми здатні виробляти різні механізми пристосування. Існує велика кількість різновидів цих пристосувань.

Найбільш відомими та різноманітними є пристосування тварин, що полягають у зміні забарвлення з метою маскування, захисту від ворогів, кращих можливостей полювання на власних жертв тощо.

Приховуюче (криптичне) забарвлення дозволяє тварині злитися з забарвленням зовнішнього середовища. Таке злиття може слугувати як для захисту від потенційних ворогів, так і для полегшення вистежування жертви, а отже, притаманне як трав'янистим організмам, так і хижакам. Маскуюча дія **забарвлення за принципом протитіні** ґрунтується на нерівномірному забарвленні тіла тварини відносно звичайного її освітлення. Ті частини тіла, на які зазвичай падає світло, забарвлені у темніший колір, а ті, що переважно знаходяться у тіні — в світліший (мал. 51). Цей тип забарвлення часто притаманний водним організмам.

Розмежовуюче забарвлення полягає у наявності на тілі тварини контрастних ділянок. Такий спосіб забарвлення дозволяє приховувати одні частини тіла та демонструвати інші. Таким чином ворогу складніше оцінити межі тіла даного організму та зорієнтуватися щодо його положення (мал.52). Зокрема, у деяких видів жаб на голові наявні смуги, що маскують очі.



Мал. 51. Забарвлення за принципом протитіні у щуки



Мал. 52. Розмежовуюче забарвлення риби-метелика

Ефект **застережного** та **загрозливого** забарвлень полягає у відлякуванні ворога шляхом раптової демонстрації потенційної небезпеки, що загрожує йому у випадку нападу. Різниця полягає у тому, що застережне забарвлення (мал. 53) притаманне видам, які насправді мають механізми захисту від ворогів (отрута, неприємний запах, жалкі клітини тощо). Загрозливе забарвлення (мал. 54) характерне для видів, які подібних механізмів не мають, однак для них важливо відлякати та дезорієнтувати ворога.



Мал. 53. Застережне забарвлення отруйної жаби — блакитного дереволаза



Мал. 54. Загрозливе забарвлення на крилах метелика нагадує очі сови

Деякі організми здатні імітувати захисне забарвлення організмів інших видів або ж набувати подібності до інших об'єктів природи. Це явище отримало назву **мімікрії**.

Деякі види здатні імітувати забарвлення близьких захищених видів, самі при цьому будучи незахищеними. Така мімікрія називається **класичною**, або ж **Бейтсівською** (мал. 55). Ще один вид мімікрії — **мюллерівська** — полягає у подібності забарвлення групи захищених видів (мал. 56).

Деякі організми маскуються, нагадуючи собою інші об'єкти живої чи неживої природи. Так, багато видів паличників маскуються під сухі гілки або листя дерев. Метелики *Kallima inachus*, складаючи крила, здатні імітувати сухе листя. Рослини роду *Lithops* (дослівно — «схожі на камені») нагадують собою шматки каміння. Усі ці організми є прикладами **мімесії** — імітації неживих об'єктів природи.



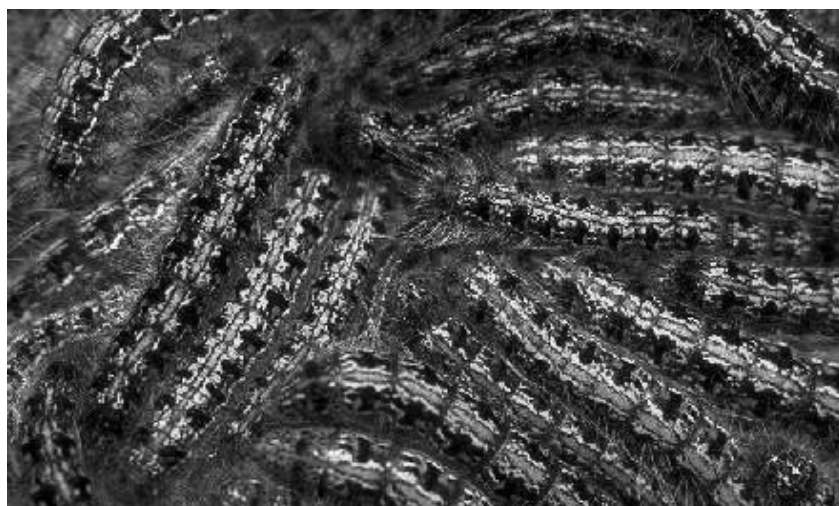
Мал. 55. Бейтсівська мімікрія — неотруйна муха-дзюрчалка нагадує забарвленням отруйну осу



Мал. 56. Мюллерівська мімікрія — отруйні оса та бджола мають схоже забарвлення



Дрібні організми, збираючись у групи, можуть демонструвати так звану *колективну мімікрію*. Вона полягає у такому розміщенні організмів у групі, щоб завдяки особливостям їх забарвлення ця група нагадувала одну велику тварину (мал.57).



Мал. 57. Колективна мімікрія у гусені

Хижачи для підвищення успішності полювання застосовують *агресивну мімікрію*. Вигляд деяких частин їх тіла імітує поживу інших видів тварин. Ці тварини, приваблені рухами даної частини тіла, підбираються до хижака та стають його поживою.

Морфологічні адаптації полягають у зміні будови тіла відповідно до виконуваних функцій. Так, кістки птахів є порожнистими та полегшують масу тіла при польоті, пристосуваннями до польоту також слугують наявність кіля, крил та обтічна форма тіла птаха. Обтічна форма притаманна також тілам водних організмів, перш за все риб, оскільки є більш вигідною в

умовах пересування шляхом плавання. Водоплавні птахи пристосувалися до свого середовища існування через формування перетинок між пальцями нижніх кінцівок. Важливою адаптацією водоплавних птахів є також наявність куприкової залози, що виділяє жир, який перешкоджає воді змочувати пір'я птаха.

Низку поставлених природою завдань тваринам допомагають вирішити **поведінкові адаптації**. Зокрема, бджоли виробили особливі поведінкові реакції, що дозволяють особинам швидко спілкуватися між собою з метою отримання поживи. Інші соціальні комахи, наприклад, мурахи та терміти, також мають низку поведінкових реакцій, що виявляються, зокрема, у побудові складних гнізд.

Для деяких видів характерна **відлякуюча поведінка**. Ця поведінка часто супроводжується загрозливим чи застерігаючим забарвленням тварини. Наприклад, жук-красотіл перед тим, як випустити у ворога струмінь смердючої рідини, піднімає задню частину тіла, а кобра перед нападом шипить та роздуває клубук. Певні види тварин здатні прикидатися мертвими при загрози нападу або нападі хижака. Поведінковими адаптаціями також є різноманітні форми **турботи про потомство**.



1. Які з захисних забарвлень притаманні захищеним організмам, здатним протистояти хижакам (завдяки наявності жала, отрути тощо), а які — для незахищених?
2. Наведіть приклади поєднання захисного забарвлення різних типів з поведінковими адаптаціями.

Обговоріть у групах



Пригадайте, як виникли адаптації у героїв «Маленьких казок» Р. Кіплінга («Звідки в леопарда плями на шкірі», «Звідки в слона хобот» та ін.). Як можна пояснити виникнення цих ознак за теорією еволюції Чарльза Дарвіна?

Біорізноманіття, еволюція та систематика. Основні групи організмів



Запам'ятайте терміни: філогенетичне дерево, бінарна номенклатура

Система органічного світу як відображення його історичного розвитку

Великий пласт наукових досліджень у біології є пов'язаним із спробами класифікувати відомі науці види живих організмів. Ці дослідження формують розділ біологічної науки, що називається систематикою.

Штучні та природні класифікації

Відповідність тієї чи іншої системи реальному стану справ у природі залежить від критеріїв, на основі яких здійснюється спроба класифікації.

Штучні класифікації формуються на основі подібності організмів за певною ознакою, що не стосується спільності походження видів. Перші спроби класифікувати живий світ були саме такими.

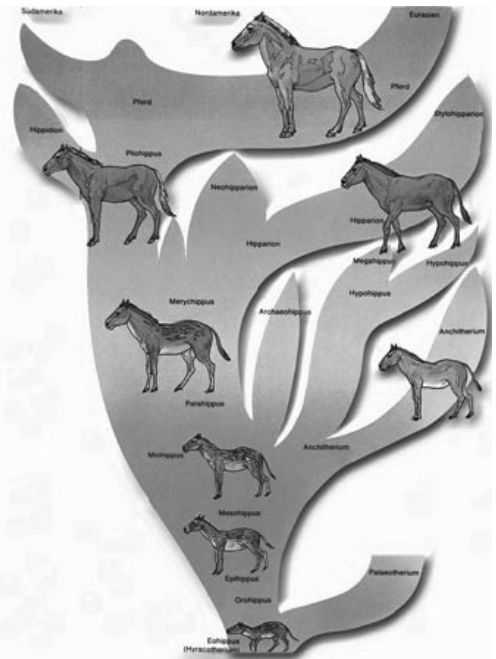
Арістотель створив ієрархічну систему усіх відомих йому об'єктів природи у вигляді так званої «драбини видів». Вчений вважав критерієм для віднесення того чи іншого об'єкту до певного щабля даної драбини характеристики його «душі». У результаті створена ним ієрархія виглядала наступним чином:

1. Мінерали (душа відсутня);
2. Рослини (душа, що живить);
3. Зоофіти (душа, що живить та відчуває)
4. Безкровні тварини (душа, що живить, відчуває та рухає);
5. Тварини з кров'ю (душа, що живить, відчуває та рухає);
6. Людина (душа, що живить, відчуває, рухає та мислить).

Ідею «драбини істот» використовував у своїх працях також і **Ж.-Б. Ламарк**. Він поділив увесь живий світ на 6 градаций, найпримітивніша з яких включала одноклітинних організмів (інфузорій), а найвища і найдосконаліша — теплокровних тварин та людину.

«Батько систематики» **Карл Лінней** також не уникнув штучності у своїй класифікації живих істот. Однак неоціненним внеском Ліннея у світову науку є розробка принципів *номенклатури* (присвоєння назв) живим істотам у системі видів.

Природні класифікації живого світу базуються на спільності походження живих організмів. Такий підхід вимагав розробки нової схематичної моделі, що описувала б відомі групи організмів у ході їх історичного розвитку. Така схема прийшла на заміну старій концепції «драбини видів», що не враховувала можливостей розгалуження еволюційних шляхів. Сучасні схеми розвитку живого світу називають *філогенетичними деревами* (мал. 58).



Мал. 58. Філогенетичне дерево коней

Сучасна система органічного світу

Завданням сучасної систематики є створення системи живого світу, яка б відображала його еволюційний розвиток. Оскільки багато вчених висували різні гіпотези класифікації живого світу, виникла потреба прийти до консенсусу. Така консенсусна модель і є прийнятою в науці на даний час.

Установленням зв'язків спорідненості між групами організмів займається розділ систематики, що називається **кладистикою**. Кладистика оперує *кладами* — групами організмів, що є прямими спадкоємцями предкової групи та всіх проміжних форм між предковою групою та самою собою. Якщо походження клади достовірно підтверджено, її вважають таксоном.

Сучасна систематика оперує такими класифікаційними категоріями (у порядку зменшення):

Царство

Тип (у рослин — **Відділ**)

Клас

Ряд (у рослин — **Порядок**)

Родина

Рід

Вид

На даний час у системі органічного світу виділяють п'ять царств **Р. Уїттекера** — Бактерії, Протисти, Рослини, Гриби і Тварини. Багато вчених поділяє царство Прокаріот на два окремих царства: Архебактерії та Еубактерії (справжні бактерії).

Біологічна номенклатура

Базуючись на працях своїх попередників, зокрема, Конрада Геснера та Джона Рея, Карл Лінней заклали основи біологічної номенклатури. Виділені ним три царства вчений розділив на дрібніші групи — класи, ряди, роди та види. Кожній з цих груп він присвоїв латинську назву. Назва виду складалася із двох слів — назви роду (іменник), що могла бути спільною для кількох видів, та видового епітета (прикметник), унікального для кожного виду. Такий принцип називається *бінарною* (такою, що складається із двох слів) *номенклатурою* і використовується у біології по сьогоднішній день. До Ліннея назва виду могла складатися з великої кількості слів,

що практично описували основні ознаки цього виду. Іноді до подвійної назви може додаватися третє слово — ще один видовий епітет. Цей принцип застосовується у випадку наявності у виду кількох підвидів або рас, кожна з яких повинна мати власну назву, що її ідентифікує.

Принципи присвоєння назв живим організмам регламентуються спеціальними збірниками правил — *кодексами* біологічної номенклатури. Існують кодекси ботанічної (включає також ціанобактерії та гриби) та зоологічної номенклатур, а також номенклатури бактерій. Питаннями систематики вірусів займається Міжнародний комітет з таксономії вірусів.



1. Як відрізняються класифікаційні категорії рослин і тварин? Чому вони відрізняються?
2. Наведіть повну класифікацію для обраного виду рослин, тварин.

Обговоріть у групах



Чому дуже важко побудувати повністю природну класифікацію живих організмів?

Макроеволюція. Докази еволюції



Запам'ятайте терміни: гомологічні органи, аналогічні органи, рудименти, атавізми, перехідні форми, релікти, конвергенція, дивергенція

Макроеволюція. Літопис Землі

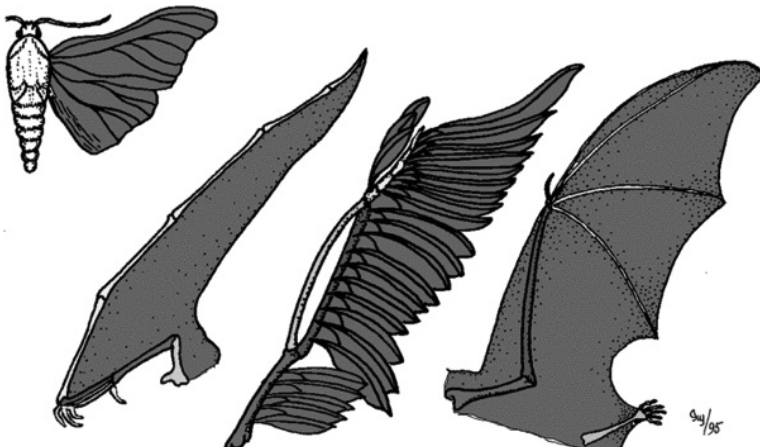
Вивчені досі еволюційні явища на рівні виду включаються до процесів мікроеволюції. Макроеволюційний процес веде до утворення надвидових категорій (родів, класів, родин тощо).

Порівняльний аналіз різних представників цих груп організмів дозволяє простежити спільність та відмінність певних етапів їх розвитку, а отже, й сформулювати докази еволюції.

Докази еволюції

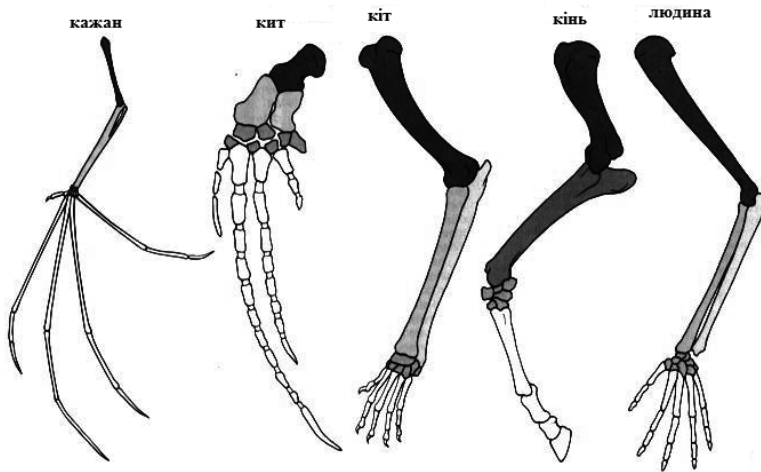
Історично першими групами доказів, сформульованими дослідниками на базі доступних їм фактів, були **порівняльно-анатомічні** та **палеонтологічні** докази.

Порівняльний аналіз анатомії та морфології організмів дозволяє зробити висновок про спільність їх розвитку та походження одних груп організмів від інших. Перш за все це стосується явищ *гомології* та *аналогії* органів. Аналогічні органи (мал.59) мають різне походження, однак у різних систематичних груп організмів виконують подібну функцію унаслідок спільності умов середовища проживання організмів. До таких органів належать зябра різних груп водних організмів, колючки та вусики різного походження у рослин тощо.



Мал. 59. Аналогія — крила комахи, птеродактиля, птаха та кажана

Походження гомологічних органів є спільним, при цьому вони можуть виконувати однакову або різні функції (мал.60). Ілюстрацією гомології є різноманітність функцій кінцівок у ссавців та ротових апаратів у комах.



Мал. 60. Гомологія — кінцівки різних груп ссавців

Важливими доказами еволюції людини є **рудименти** — органи, що у процесі еволюції втратили свої функції і збереглися в недорозвиненому стані та атавізми — випадки появи ознак, притаманних предковим формам. Рудиментами у людини є залишок третьої повіки, м'язи навколо вушної раковини, апендикс тощо, **атавізмами** — поява хвоста та надмірного оволосіння у деяких людей. Сучасна наука володіє даними про виконання рудиментарними органами деяких функцій, зокрема апендикс людини бере участь у функціонуванні імунної системи.

За кілька століть вченим вдалося нагромадити велику кількість **палеонтологічних** знахідок, що слугують доказами еволюції. Перш за все це викопні рештки, що демонструють ознаки спільних предкових форм деяких організмів або **перехідних форм** між двома групами організмів (мал.61). Деякі з таких перехідних форм збереглися до наших днів і слугують живими доказами еволюції.

На **молекулярному рівні** сучасна еволюційна наука володіє великою кількістю доказів. Найбільш універсальним серед них є факт єдності хімічного складу клітин усіх відомих організмів. Співвідношення елементів у клітинному вмісті є спільним для усіх організмів і допускає лише незначні відхилення. Ще більше доказів спільного розвитку усіх організмів дає будова ДНК та структура генетичного матеріалу.

Доказами еволюції також є зміни у формі та числі хромосом. Зокрема, вважають, що друга хромосома людини є наслідком злиття двох хромосом предкових видів приматів. Це підтверджується аналізом структури цих хромосом, а також тим фактом, що каріотип більшості приматів складає 24 пари хромосом, а людини — 23.

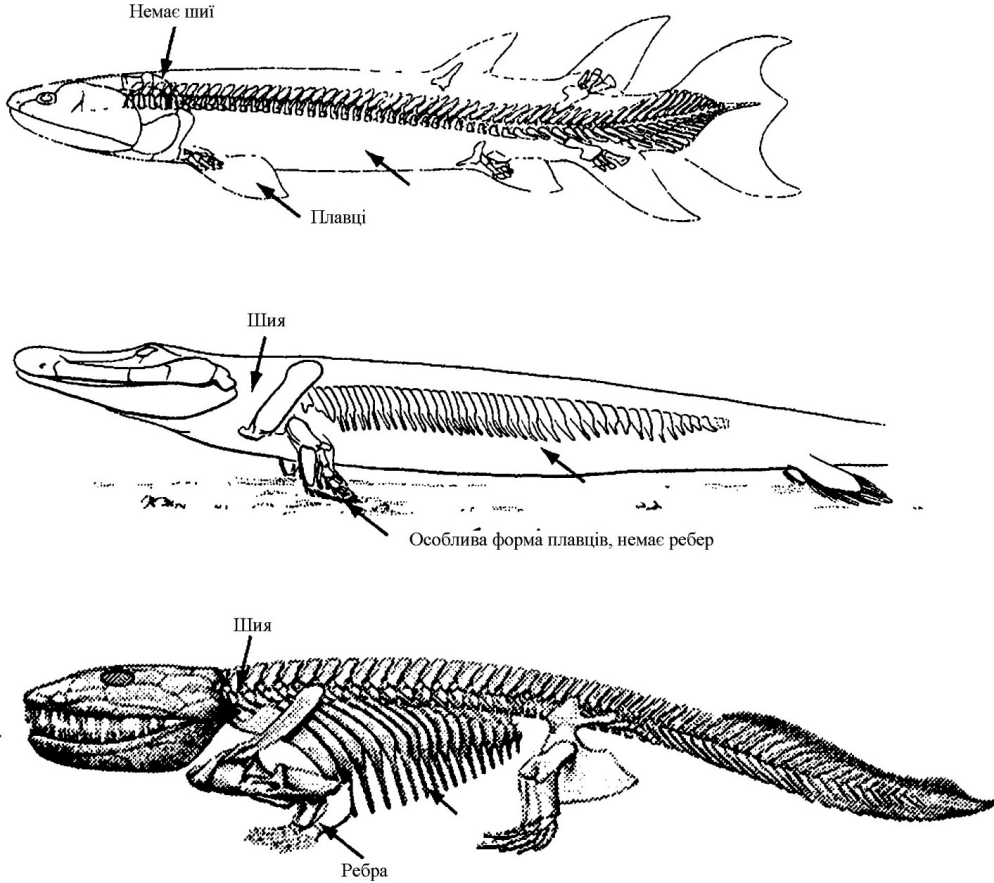
Аналіз особливостей розселення організмів дозволяє сформулювати низку **біогеографічних** доказів еволюції. Розселення видів тварин і рослин відповідає історії їх еволюції. Зокрема, фауна Австралії складається з великої кількості унікальних видів тварин. Це зумовлюється ранньою ізоляцією Австралії від решти материків.

Дослідження острівної фауни та флори дає можливість виявити спільні та відмінні риси острівних видів від видів, що мешкають на материку, і таким чином прослідкувати їх еволюцію. Прикладом цього є вже згадувані раніше досліджені Ч. Дарвіном в'юрки.

Ембріологічні докази еволюційного процесу полягають у доведенні подібності стадій ембріонального розвитку організмів. Відмінність організмів різних груп один від одного посилюється з ходом ембріонального розвитку, а отже найбільш консервативними є ранні стадії ембріогенезу. Аналіз ознак зародків різних організмів дозволяє провести аналогію між структурами, що будуть притаманні дорослому організму. Таким чином, зокрема, було

підтверджене походження слухових кісточок людини від кісток, які у плазунів утворювали щелепний суглоб. Деякі стадії розвитку організмів також можуть нагадувати предкові види. Наприклад, личинки асцидій — хордових тварин, дорослі представники яких втратили притаманні хордовим риси будови тіла, нагадують своєю будовою предкову форму — ланцетника.

Така подібність ембріонів була досліджена Е. Геккелем і сформульована ним у вигляді **біогенетичного закону**. На даний час, однак, формулювання даного закону уточнене і підтверджує повторення лише ознак певних стадій розвитку організмів, а не ознак дорослих форм.



Мал. 61. Виявляється перехідна форма між рибами (зверху) та амфібіями (знизу) — тікталік (посередині)

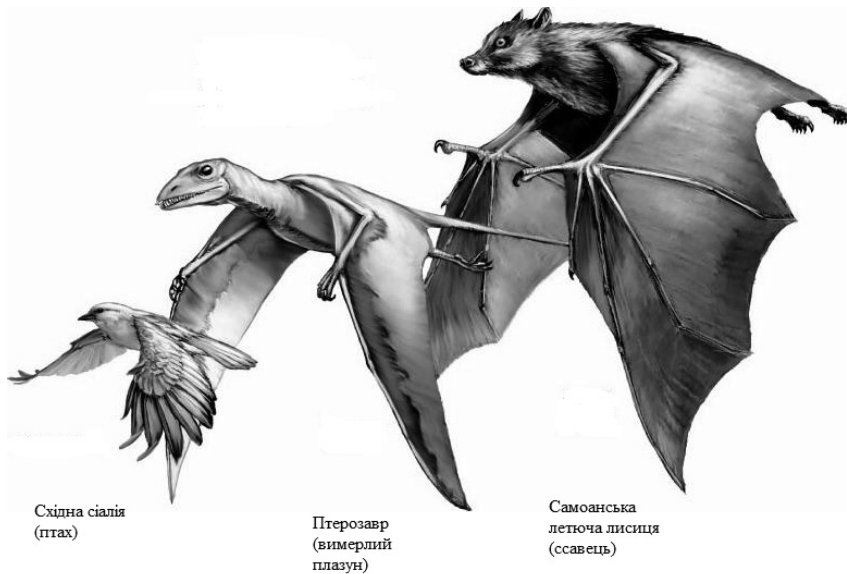
Філогенез

Індивідуальний розвиток особини (онтогенез) є основою філогенезу — історичного розвитку організмів. Це пояснюється тим, що саме окремі особини є матеріалом природного добору. Зміни, що впливають на філогенез, можуть відбуватися на різних стадіях життя організму.

До основних форм філогенезу належать дивергенція, конвергенція та паралелізм. **Дивергенція** полягає у розгалуженні напрямків розвитку таксонів, що походять від спільної предкової лінії. Вона виникає внаслідок дії елементарних факторів еволюції — мутаційного процесу, популяційних хвиль та ізоляції. Вплив цих факторів на певному етапі розвитку стає настільки значним, що призводить до розгалуження предкового таксону. Прикладом дивергенції на рівні мікроеволюції є різноманітність форм Дарвінових в'юрків (див. мал.

51), на рівні макроеволюції — різниця у фенотипах птахів та ссавців, що походять від однієї предкової лінії, однак мешкають у різних середовищах.

Конвергенцією називають формування подібних ознак фенотипу у груп, що не мають спільного походження, однак мешкають у тому самому середовищі і виконують у природі одну і ту ж функцію (мал.62). Наприклад, акули (хрящові риби) та дельфіни (ссавці) мають подібну форму тіла, що є адаптацією до проживання в океані у подібних умовах. Аналізуючи лише зовнішні ознаки, складно визначити, є подібність представників певних таксонів результатом дивергенції чи конвергенції. Зокрема, ряд Зайцеподібні довгий час вважали близьким до ряду Гризуни. Однак глибші дослідження показали спорідненість зайцеподібних з копитними, а отже їх подібність до гризунів має конвергентне походження.



Мал. 62. Конвергенція тварин, що мешкають у повітряному середовищі

Паралелізм — форма конвергенції, за якої формування спільних ознак відбувається у близьких за походженням груп, які піддалися процесу дивергенції. Прикладами паралелізму є формування подібного типу кінцівок у двох різних груп копитних (парно- та непарнокопитні) та формування органів світіння у деяких груп глибоководних риб.

Шляхи макроеволюції

До основних напрямків еволюції відносять ароморфоз, ідіоадаптацію та загальну дегенерацію.

Ароморфозами називають підвищення рівня організації представників групи унаслідок набуття ними радикально нових ознак, що дозволяють розширити межі їх існування. За історію органічного світу на Землі виникла невелика кількість потужних ароморфозів. До них можна віднести, зокрема, формування нервових вузлів, виникнення чотирикамерного серця у деяких рептилій, розділення кіл кровообігу тощо.

Ідіоадаптація полягає у формуванні низки часткових пристосувань без підвищення рівня загальної організації групи. Такі адаптації дозволяють різним видам великого таксону опанувати різні природні зони та географічні пояси. Зокрема, представники ряду Горобцеподібні мешкають практично у всіх широтах, у кожній з них пристосовуючись до певної природної зони та екологічної ніші. Найбільш яскравим прикладом ідіоадаптацій цієї групи птахів є пристосування форми їхнього дзьоба до споживання певного виду їжі. Зокрема, ластівки мають короткий, розширений при основі дзьоб, що дозволяє їм ефективно ловити комах на льоту; дятли — долотоподібний дзьоб, пристосований до розколування кори дерев; дрозди — видовжений дзьоб, з допомогою якого зручно добувати черв'яків з ґрунту тощо.

Ароморфози та ідіоадаптації є анатомо-морфологічними шляхами досягнення біологічного прогресу — вдосконалення у процесі еволюції певних груп організмів.

Відносний комфорт умов існування веде до біологічного регресу, що досягається шляхом **загальної дегенерації**. Результатом загальної дегенерації є спрощення будови організму та втрата деяких рис високої організації, набутих предковими формами. Зокрема, будова паразитичних червів має значні спрощення у порівнянні з вільноживучими родичами: редукуються травна та нервова системи та органи чуттів, натомість розвивається статева система. Двостулкові молюски унаслідок сидячого способу життя зазнали редукції голови. Асцидії, хордові тварини, зберегли хорду лише на личинковій стадії, в той час як дорослі форми зазнали значного спрощення будови та ведуть сидячий спосіб життя.

Правила еволюції груп

Аналіз проходження процесів еволюції у різних груп організмів дав змогу помітити певні закономірності. Ці закономірності дозволили сформулювати правила проходження еволюції у групах:

1. Правило незворотності еволюції (правило Долло) — процес еволюції незворотній і повернення організму до стану предкових груп є неможливим;
2. Правило прогресуючої спеціалізації (правило Депенере) — група, що вступила на шлях спеціалізації, у майбутньому йтиме шляхом поглиблення цієї спеціалізації;
3. Правило походження від неспеціалізованих предків (правило Копа) — як правило, початок новим групам дають не спеціалізовані предкові групи, а групи з нижчим рівнем спеціалізації;
4. Правило адаптивної радіації — філогенез завжди розділяється на декілька окремих відгалужень, що розходяться у різних напрямках від середнього стану.



1. Наведіть приклади аналогічних і гомологічних органів, рудиментів у рослин.
2. Яка з форм філогенезу (конвергенція чи дивергенція) є доказом адаптивності еволюції?
3. Чи можна вважати правила еволюції груп законами? Які підтвердження є до цих правил?
4. Чому внаслідок еволюції інколи утворюються непотрібні (не функціональні) органи. Наведіть приклади.

Обговоріть у групах



Поняття прогресу отримало різну оцінку у різних вчених. Зокрема, Дж. Гекслі у своїх наукових пошуках прийшов до питання, у напрямку чого розвивається еволюція і що можна вважати критерієм прогресу, адже за різних умов вигода від адаптацій може бути різною, як і здатність особин до виживання. Внаслідок цього сформувався *парадокс Гекслі* — хто є більш прогресивним, людина чи туберкульозна бактерія, яка веде до загибелі людини? Сформулюйте свої критерії біологічного прогресу. Які з організмів будуть найбільш прогресивними за ними?

Літопис Землі. Походження життя



Запам'ятайте терміни: креаціонізм, самозародження, теорія біохімічної еволюції

Питання виникнення нашого світу і зародження життя у ньому були предметом роздумів упродовж усього часу розвитку людства. Релігійні уявлення та філософські пошуки з часом еволюціонували у більш чи менш підтвержені наукові теорії.

Креаціонізм

Креаціонізм полягає у визнанні створення життя вищою істотою (Богом). Саме він є чи не першою історично гіпотезою виникнення життя на Землі. Не можучи пояснити оточуючі явища, люди створювали міфи про вищі сили, які керують життям Всесвіту та людини.

На базі міфологічного світогляду виник релігійний, що закріпив уявлення про Бога як першопричину всього.

Довгий час креаціонізм був єдиною точкою зору на походження Землі та життя на ній. Аж до кінця Середньовіччя ця точка зору була загальноприйнятою у всій Європі та за її межами. Пізніші вчені, будучи людьми освіченими, все одно перебували під впливом релігійних інституцій, а отже, їх спроби формулювання наукових теорій про походження життя так чи інакше відчували на собі вплив креаціонізму.

Вчення про походження життя на Землі шляхом акту творення збереглося до наших днів і поділяється на декілька напрямків.

Молодоземельний креаціонізм є найбільш консервативним відгалуженням даного вчення. Його прихильники вважають, базуючись на Біблії, що геологічний вік Землі становить близько 7000 років. Вони заперечують більшість наукових методів реєстрації віку геологічних об'єктів (наприклад, радіокарбонівий аналіз), заперечують еволюцію, визнаючи лише деякі її елементи.

Прихильники **староземельного креаціонізму** погоджуються зі встановленим наукою віком Землі. Описані у Біблії «дні» творіння вони вважають алегоричним відображенням певних тривалих періодів, які пережила Земля у процесі свого формування. Загалом декларуючи життя на планеті як результат божественного акту творіння, староземельні креаціоністи не заперечують подальших доведених наукою явищ, у тому числі еволюцію.

Останнім часом з'явилися спроби адаптувати креаціоністські уявлення до сучасних наукових фактів. Не персоналізуючи особи творця, прихильники **теорії розумного задуму**, однак, намагаються довести необхідність наявності певної творчої сили. Аргументом на користь своєї теорії вони вважають складність пануючих на Землі життєвих форм та неможливість витворення такої різноманітності шляхом дії «сліпих» природних факторів. Ця концепція, однак, не узгоджується з принципами сучасної наукової методології (див. тему «Методи біологічних досліджень»).

Самозародження

У процесі розвитку людства релігійний світогляд поступово замінювався філософським. Продуктом діяльності останнього є теорія самозародження, тобто виникнення живих істот із неживих об'єктів. Перші уявлення про зародження живого з неживого з'явилися ще у міфах різних народів. Теорію самозародження активно розвивали давньогрецькі філософи, перш за все Фалес, який вважав, що життя виникло з води, та Емпедокл, на думку якого, місцем зародження життя був намул. Прихильником теорії самозародження був також Арістотель.

Теорія самозародження також була популярною у Середні Віки та пізніше. Лише в XVII сторіччі **Франческо Реді** на досліді довів хибність поширеної у ті часи думки про зародження мух із гнилого м'яса. Учений поклав два шматки м'яса до різних посудин, одну з яких накрив тканиною. В результаті у посудині, що не була накритаю, завелися личинки мух та самі мухи, а у накритій — ні. Реді зробив логічний висновок про те, що мухи не зароджуються з м'яса, а відкладають на нього свої яйця, з яких розвиваються нові мухи.

У XVIII столітті ідеї самозародження виникли знов після відкриття мікроорганізмів. Остаточою край таким уявленням поклав Луї Пастер, який у 1859 році в серії дослідів продемонстрував неможливість самозародження.

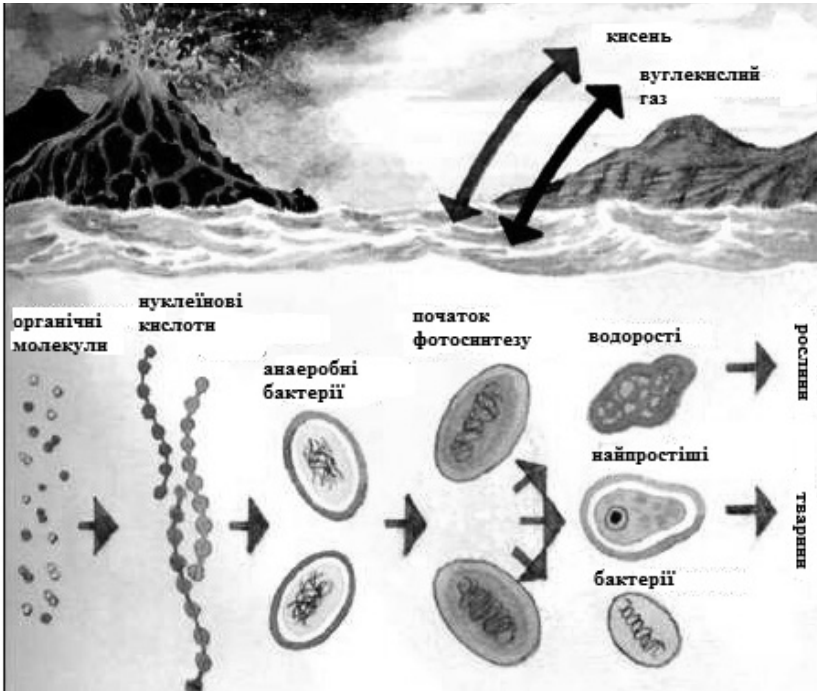
Панспермія

Згідно з теорією панспермії, життя було занесене на Землю з глибин Всесвіту, де існувало вічно. Доказами істинності своєї теорії її прихильники вважають знайдені на метеоритах та поверхні деяких планет і астероїдів певні органічні речовини. Деякі вчені, що визнавали цю теорію, зокрема, С. Арреніус, вважали агентом занесення «зародків життя» на нашу планету сонячний вітер.

Теорія біохімічної еволюції

Дана теорія є найпізнішою з усіх, що стосуються походження життя. Вона була сформульована радянським біохіміком О. Опаріним і незалежно від нього — британським біологом Дж. Холдейном.

Згідно з даною теорією, присутні у складі земної кори, атмосфери та води біогенні хімічні елементи поступово утворювали складні сполуки (мал. 63). Під впливом умов, що склалися на тодішній Землі, ці сполуки могли утворювати найпростіші здатні до саморегуляції згущення — так звані *коацерватні краплі*. Поява поруч з такими білковими краплями ліпідних шарів, каталітичних систем та систем передачі інформації з нуклеїнових кислот на білки зумовила формування найпростіших живих систем, що далі піддавалися еволюції.



Мал. 63. Теорія біохімічної еволюції

Незважаючи на численні спроби спростування, теорія біохімічної еволюції на даний час вважається найбільш достовірною теорією походження життя.



1. Складіть порівняльну таблицю теорій походження життя.
2. Чи можливе виникнення життя (у відповідності до теорії біохімічної еволюції) в наш час на Землі?

Обговоріть у групах



Проведіть дискусію між групами, які підтримують одну з гіпотез походження життя та оцініть аргументованість їхніх тверджень, а також можливість перевірки за допомогою наукових засобів.

Життя в протерозойську, палеозойську, мезозойську і кайнозойську ери



Запам'ятайте терміни: ера, період, коеволуція

Геологічна історія землі поділяється на певні часові відтинки. З ними пов'язаний також розвиток живих організмів. Історія планети поділяється на **ери**, а ери — на **періоди**.

Архейська ера

Первинні етапи формування нашої планети супроводжувалися агресивними впливами на Землю іонізуючого випромінювання, високих температур та інших фізичних факторів, що унеможлилювали появу на поверхні планети життя. Перші передумови до його виникнення стали з'являтися лише з формуванням гідросфери Землі.

Саме у водному середовищі сформувалися первинні речовини органічної природи, перш за все білкоподібні речовини (протеїноїди). Під впливом тодішніх умов середовища на планеті ці речовини піддавалися полімеризації і, як наслідок утворювали *коацервати* — краплеподібні структури, здатні до певної саморегуляції, вбирання речовин із середовища та включення їх у власні хімічні реакції. Наявні у воді ліпіди були здатні до формування простого молекулярного шару на поверхні води. При взаємодії з коацерватами за певних умов цей шар ставав подвійним та оточував коацервати ззовні. Такі структури отримали назву *пробіонтів* — попередників живих організмів.

Попри складну будову, пробіонти ще не були живими організмами. Перехід від складних колоїдних до живих систем, тобто від хімічної до біологічної еволюції, потребував вироблення низки додаткових механізмів саморегуляції.

Першим з таких механізмів стала поява речовин, що здійснювали каталіз реакцій, які проходили всередині коацервату. Поступово відбувся перехід від простих хімічних до складних біологічних каталізаторів. Основною перевагою останніх була специфічність до каталізу певної реакції, що суттєво збільшувало ефективність такого біокаталізатора (фермента).

Подальшим важливим етапом еволюції пробіонтів було формування взаємозалежності білків та нуклеїнових кислот та, що особливо важливо, стійких способів визначення елементів білків з допомогою послідовності нуклеотидів нуклеїнових кислот (генетичний код). Це зумовило виділення механізмів передачі спадкової інформації, які, в свою чергу, уможливили вплив на пробіонтів факторів еволюції. Деякі дослідники вважають виникнення такої взаємодії початковим, на противагу утворенню коацерватів.

На основі пробіонтів сформувалися перші примітивні організми-прокаріоти — бактерії та ціанобактерії. Рештки цих організмів утворюють так звані строматоліти — давні осадові породи, знайдені в формаціях Ісуа в Гренландії та Варравуна у Західній Австралії.

Еволюція прокаріот відбувалася відносно швидко унаслідок нескладних механізмів передачі між окремими особинами спадкового матеріалу, а отже, і мутацій. Тим не менше попри велику різноманітність видів, бактерії та ціанобактерії тривалий час залишалися єдиними мешканцями Землі.

Протерозойська ера

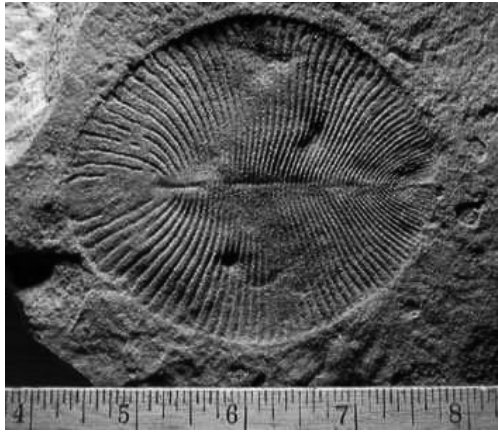
В силу деяких геологічних процесів та активного здійснення організмами реакцій фотосинтезу в атмосфері планети накопичилася велика кількість кисню, змінивши таким чином характер атмосфери з відновного на окисний. Це явище отримало назву *кисневої революції*. Важливим наслідком цього явища стала поява озонового шару, що уможливила подальший вихід життя на сушу.

Киснева революція змінила не лише хімічний склад атмосфери та літосфери, а й стала чинником формування у живих організмів низки пристосувань, перш за все біохімічних. Основним таким пристосуванням стало виникнення кисневого дихання. Даний тип дихання дозволяє організму виробити енергії у декілька разів більше, ніж за попередньо існуючих процесів, що не потребували кисню — гліколізу і бродіння. Це в кінцевому результаті і зумовило подальшу еволюцію живих істот.

Основними відмінностями еукаріотичної клітини від прокаріотичної були поява різноманітних органел та, що найголовніше, просторове виокремлення спадкового матеріалу в окремій органелі — ядрі. Загальне ускладнення передачі спадкової інформації між організмами призвело до суттєвих вдосконалень механізмів цієї передачі, зокрема різних форм статевого процесу.

Подальший розвиток деяких еукаріот досягнув етапу формування колоній, що й стали предками майбутніх багатоклітинних організмів. Однак причиною появи багатоклітинності став не сам факт скупчення клітин в одному місці, а розподіл функцій (функціональна диференціація) між клітинами у колонії і утворення тканин.

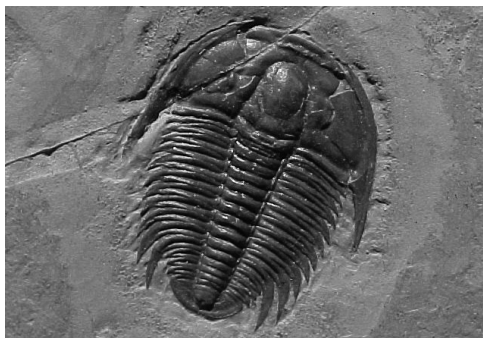
Останній період протерозойської ери — *вендський*, або ж *едіакара* — характеризується наявністю великих багатоклітинних гетеротрофних організмів — вендобіонтів (мал. 64). У цей час вже існують перші багатоклітинні водорості та кишковопорожнинні.



Мал. 64. Виявлений організм вендського періоду

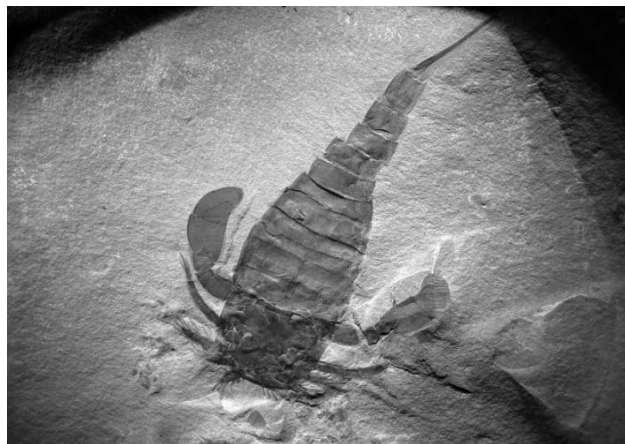
Палеозойська ера

Кембрійський період. У цей період темпи еволюції багатократно пришвидшилися і зумовили так званий кембрійський вибух — раптове утворення величезної різноманітності практично усіх типів організмів, відомих до нашого часу. Життя у цей період виривало у водах Світового океану, який займав здебільшого північну півкулю планети, в той час як практично уся суша концентрувалася у південній півкулі. Скам'янілі рештки цього періоду демонструють велику різноманітність організмів з черепашковим екзоскелетом. Зокрема це *трилобіти* — вимерлий клас членистоногих, що набув великого розквіту у кембрійський період (мал. 65). У кінці даного періоду відбулися перші спроби тварин освоїти сушу. Цими тваринами були представники типу Членистоногі.



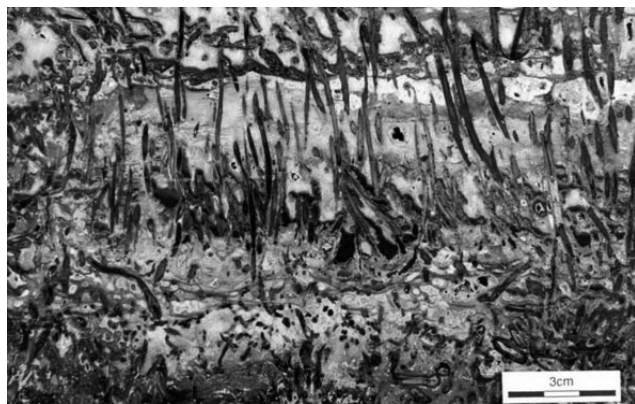
Мал. 65. Трилобіт

Ордовицький період. У даному періоді продовжувався розвиток водоростей, що стали основними продуцентами біомаси у Світовому океані, який все ще залишався основним місцем здійснення еволюційного процесу. Спостерігався розвиток голкошкірих та велетенських головоногих молюсків — наутілоїдей. Продовжувався розвиток членистоногих — саме у цей період їх представники досягли найбільших розмірів. Цими представниками були ракоскорпіони, що могли досягати у розмірах до двох метрів (мал. 66). Рифи утворюються за рахунок життєдіяльності коралових поліпів (у кембрійському періоді цей процес здійснювали організми, споріднені з сучасними губками). Наприкінці періоду активно розвиваються безщелепні хребетні. Поряд із солоними водами Світового океану життя розвивалося також у прісних водоймах.



Мал. 66. *Ракоскорпіони*

Силурійський період. На межі цього періоду з попереднім, ордовіцьким, відбулося третє за масштабністю вимирання видів в історії Землі. Рівень Світового океану у цей період суттєво знизився. Почали з'являтися мілководдя, що поступово заселялися першими наземними рослинами — риніофітами та псилофітами (мал. 67). Вихід на сушу також здійснила ще одна група членистоногих — скорпіони. Спостерігався подальший розвиток безшелепних хребетних. В той же час починає розвиватися паралельна гілка еволюції хребетних — риби.



Мал. 67. *Скам'янілі відбитки риніофітів*

Девонський період. На зміну панцирним риbam силурійського періоду прийшли сучасні хрящові та кісткові риби. Серед останніх розвинулися групи кистеперих та дводішних риб, що є ранніми предками подальшої еволюції хребетних. Упродовж періоду у прісних водоймах з'являються перші чотириногі тварини. У цей час здійснюється активне освоєння суші. Флору тодішньої Землі складають вищі спорові рослини. Вони досягають значних розмірів, є деревоподібними та формують ліси. Ці ліси заселені фауною, що складається переважно із представників типу Членистоногі. Також у цей період спостерігається поява перших насінних рослин (насінні папороті) та перших хребетних тварин, що розпочали освоєння суходолу — земноводних.

Кам'яновугільний період (карбон). Основною подією геологічної історії Землі у цей період стало розділення суходолу на два великі континенти — Лавразію та Гондвану. Ці два континенти суттєво відрізнялися за кліматом — холодний та сухий у Гондвані та жаркий і вологий у Лавразії. Подальша еволюція рослин на суші призвела до появи перших голонасінних. Загалом наземна флора у цей період формує величезні поклади кам'яного вугілля, що й зумовило назву періоду. У водоймах в цей час продовжується розквіт риб. На суші продовжують

панувати членистоногі. Серед них з'явилися літаючі форми, зокрема *меганевра* — бабка з розмахом крил близько 70 см. На суходіл виходять перші плазуни та тварини, що в подальшому стали предками ссавців.

Пермський період. Лавразія та Гондвана стикаються і утворюють суперконтинент Пангею, оточений суперокеаном Тетис. Клімат Пангеї мав чітко виражений континентальний характер та був доволі близьким до сучасного. В той же час деякі райони Пангеї піддаються зльодовінню. Флора даного періоду характеризувалася подальшим розквітом голонасінних. Насамперед це стосувалося хвойних, однак активно розвивалися також листяні голонасінні — саговики та гінкгові. У південних областях колишньої Гондвани упродовж всього періоду збереглися насінні папороті. У даний період спостерігалось значне засолювання океану та опустелювання суходолу, що призвело до змін у складі фауни. Спостерігається розвиток молюсків, за винятком головоногих, серед яких панує регрес. Серед хребетних тварин подальший розвиток здійснюють риби, зокрема вимерлі на сьогоднішній день прісноводні акули. На суші мешкають перші чотириногі тварини, що харчуються рослинною їжею — плазуни та звіроподібні. Продовжується розвиток комах, з'являються нові ряди.

Мезозойська ера

Тріасовий період. Увесь суходіл планети й далі сконцентрований у єдиному материкі — Пангеї. Засушливий клімат поступово став змінюватися на вологий, що зумовило деякі зміни у флорі і фауні Землі цього періоду.

У рослинному світі тривав розвиток голонасінних, головним чином хвойних. Насінні папороті також склали деяку частку флори. Вищі спорові рослини поступово дрібнішали і під кінець періоду були представлені майже виключно трав'янистими формами. Під кінець періоду на планеті остаточно ствердилося панування голонасінних.

У водоймах спостерігався розвиток двостулкових молюсків та голкошкірих, зокрема морських лілій та їжаків. Великої чисельності набули амоніти — група вимерлих на сьогоднішній день головоногих молюсків з черепашками. З'явилися перші відомі представники коралових поліпів. Хребетна фауна тріасових водойм була представлена багатьма сучасними та вимерлими групами, зокрема, *конодонтами*, що до кінця періоду вимерли повністю. У цей час з'являються перші сучасні представники хрящових та костистих риб. У останніх спостерігається виділення рис, притаманних сучасним променеперим риbam. У водоймах мешкала велика кількість рептилій, зокрема, нотозаври та плакодонти. Під кінець періоду вони вимерли та замінилися іхтіозавами та плезіозавами.

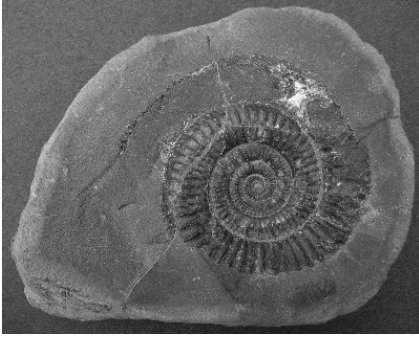
На суші спостерігається велика різноманітність лабіринтозубих земноводних (*лабіринтодонти*) — групи організмів, що походили від кистеперих риб та були одними з перших чотириногих, які вийшли на сушу.

З'явилися перші безхвості земноводні. Однак найбільш бурхливого розвитку у тріасовому періоді зазнали плазуни. З'явилися перші ящірки, черепахи та крокодили. Пануючою групою плазунів стали синапсиди — звіроподібні ящери, одна із груп яких стала предком сучасних ссавців. Наприкінці періоду з'явилися перші динозаври.

Юрський період. У цей період Пангея почала розділятися на частини. Клімат залишався вологим і сприяв формуванню рослинних біомів, подібних на джунглі. Серед рослин продовжувалося панування голонасінних. Основу голонасінної флори юрського періоду становили хвойні, однак великою чисельністю відзначалися також саговики, гінкгові та насінні папороті. Розквіт переживали *бенетити* — вимерлий на сьогоднішній день клас голонасінних. Спостерігався занепад вищих спорових, на час юри більшість з них мала трав'янисті життєві форми.

У тваринному світі водойм з'явився ще один клас вимерлих на теперішній час головоногих молюсків — белемніти. Амоніти та белемніти (мал.68-69) становили основні групи морських безхребетних того часу.

Рифи утворюють форамініфери, губки та ціанобактерії. Основним хімічним елементом цих рифів стає Силіцій, нагромаджений в організмах деяких губок. Також у морях утворюються нові групи голкошкірих. Розвиваються сучасні види акул, з'являються перші скати. Відбувався занепад лабіринтозубих, їх замінили хвостаті земноводні. Пануючою групою хребетних на землі стали динозаври.



Мал. 68. Відбиток черепашки амоніта



Мал. 69. Викопні черепашки белемнітів у народі називають «чортовими пальцями»

Крейдяний період. Клімат на Землі залишався теплим та вологим. Пангея почала розділятися на сучасні континенти. Рівень Світового океану підвищувався, велика частина суші була затоплена і утворила моря.

З'явилися перші покритонасінні рослини, до кінця періоду вони склали основу планетарної флори. Занепадають голонасінні та повністю вимирають насінні папороті. Також вимирають останні деревоподібні вищі спорові рослини.

Бурхливо розвиваються найпростіші, що накопичують в організмах вапняк, давши таким чином початок покладам крейди. Серед морських безхребетних продовжують панувати белемніти та амоніти. На суші вимерли останні представники земноводних-стегоцефалів. Продовжується розквіт динозаврів усіх середовищ існування, форм та способів живлення. Розвиваються й інші групи плазунів, зокрема водні черепахи та крокодили. З'явилися перші ссавці, як примітивні, так і більш розвинені — плацентарні. Однак дана група тварин у крейдяному періоді не досягла великого розвитку.

В кінці періоду відбулося велике вимирання видів рослин та тварин. Більшість вчених пов'язує його із падінням на Землю метеорита.

Кайнозойська ера

Палеогеновий період. Упродовж періоду клімат холоднішає і на полюсах планети з'являються льодовики. Покритонасінні остаточно зайняли домінуюче положення у наземній флорі.

Багато вимерлих груп тварин зазнали заміщення на сучасні. Зокрема, у водоймах на зміну белемнітам та амонітам прийшли головоногі молюски без черепашки. Продовжується панування костистих риб. Розвиваються птахи та ссавці, окремі групи останніх починають освоювати водойми. В кінці палеогену виникають гігантські ссавці — *титанотерії* (мал. 70).



Мал. 70. Індрикотерія — найбільший ссавець в історії Землі — та порівняння його розмірів зі зростом людини та слона

Неогеновий період. Материк на Землі зайняли своє сучасне положення. В океанах формуються течії. Антарктида, ізольована холодною течією, зазнала остаточного зльодовіння. Льодовик також частково укритав Південну Америку та частину континентів Північної півкулі. Клімат став холоднішим, відбулося скорочення кількості лісів та розширення степової зони. На материках Південної півкулі з'являються гігантські нелітаючі птахи — *еніорніси* та *фороракоси*.

Внаслідок цього розвинулася велика кількість трав'янистих життєвих форм рослин. Розширення степів проклало новий напрям в еволюції ссавців — розвинулася велика кількість копитних та інших пристосованих для степової зони видів. Екологічну нішу великого хижака зайняв *смілодон* — шаблезубий тигр (мал.71).



Мал. 71. Череп *смілодона*

З'явилися перші примати, що упродовж періоду зазнали значного розвитку. Наприкінці періоду виникла родина Гомініди, у якій виділився рід Людина.

Антропогенний період характеризується подальшим зльодовінням планети. Зльодовіння мало періодичний характер і змінювалося міжльодовиковими періодами. Рослини та тварини цього періоду виробили значну кількість пристосувань до переживання холоду. Зокрема, типовими представниками фауни того часу були печерний ведмідь, волохатий носоріг та мамонт.

Під кінець періоду льодовик відступив з майже усієї поверхні планети, залишившись лише у полярних областях. Це призвело до вимирання вищезгаданих та багатьох інших видів тварин.

З'явився та еволюціонував вид Людина розумна. У першій половині періоду виділилися людські раси.

Формування екосистем

Перші екосистеми на планеті склалися лише з прокариот. Саморегуляція таких екосистем була слабкою. Тим не менше, розвинувшись у велику кількість видів, що різнилися між собою за способом живлення, прокариоти могли вступати в екологічні взаємодії та забезпечувати колообіг речовин в екосистемі. З урізноманітненням та ускладненням організмів, що населяли Землю, почали формуватися складні екосистеми із розгалуженими ланцюгами живлення та ефективним колообігом речовин і потоком енергії. Основні типи взаємодій між членами екосистеми сформувалися вже у водному середовищі. Вихід життя на сушу був пов'язаний із мутуалістичними взаємовідносинами між рослинами та грибами (мікориза).

Структура біогеоценозу залежить не від видів організмів, що входять до його складу, а від функцій, які вони виконують. Екосистема є середовищем для дії природного добору. Тиск добору здійснюється як за рахунок факторів середовища, так і за рахунок інших членів екосистеми, внаслідок чого пов'язані між собою ланки біогеоценозу розвиваються залежно одна від одної, вступаючи у різні види симбіозу або ж регулюючи чисельність одна одної. Такий розвиток називається **спряженою еволюцією**, або ж **коеволуцією**.

Прикладами спряженої еволюції можуть служити механізми приваблювання комах-запилювачів у рослин, різні види мімікрії тощо. Деякі види метеликів упродовж спряженої еволюції з певними видами отруйних рослин виробили не лише здатність безпечно харчуватися частинами цих рослин, але й накопичувати отруту в організмі для захисту від ворогів.



1. Створіть порівняльну таблицю геологічних ер (періодів), вказуючи, які групи організмів були пануючими в той и інший проміжок часу.
2. Наведіть приклади коеволуції різних організмів. Які пристосування для спільного існування виникли у кожного з організмів?

Обговоріть у групах



завдання, які доцільно виконати в групі

Походження людини. Еволюція людини



Запам'ятайте терміни: антропогенез, біпедія

Походження людини. Людство і біосфера

Таксономічне положення людини таке:

Царство — Тварини (*Animalia*)

Тип — Хордові (*Chordata*)

Клас — Ссавці (*Mammalia*)

Підклас — Плацентарні або вищі звірі (*Eutheria*)

Ряд — Примати (*Primates*)

Родина — Гомініди (*Hominidae*)


Рід — Людина (*Homo*).

Рід Людина включає вид людина розумна (*Homo sapiens*) і близькі до нього вимерлі види.

Дані порівняльної анатомії та фізіології людини і тварин довели подібність людини і ссавців як у загальному плані, так і в багатьох деталях будови організму. Складний організм людини виник внаслідок тривалого процесу еволюційного розвитку, тому в його будові є подібність з тканинами та органами тварин, які перебувають на нижчих щаблях еволюційного розвитку. Зокрема, від червоподібних людина успадкувала наскрізний травний тракт та замкнуту кровоносну систему. Приналежність до типу хордові визначає закладання у ембріональному розвитку людини хорди, над якою формується нервова система трубка, а під нею — кишечник. Від спільного предка хребетних тварин людина успадкувала формування хребта, а від спільного предка наземних хордових (земноводні, рептилії, птахи та ссавці) — п'ятипалі кінцівки.

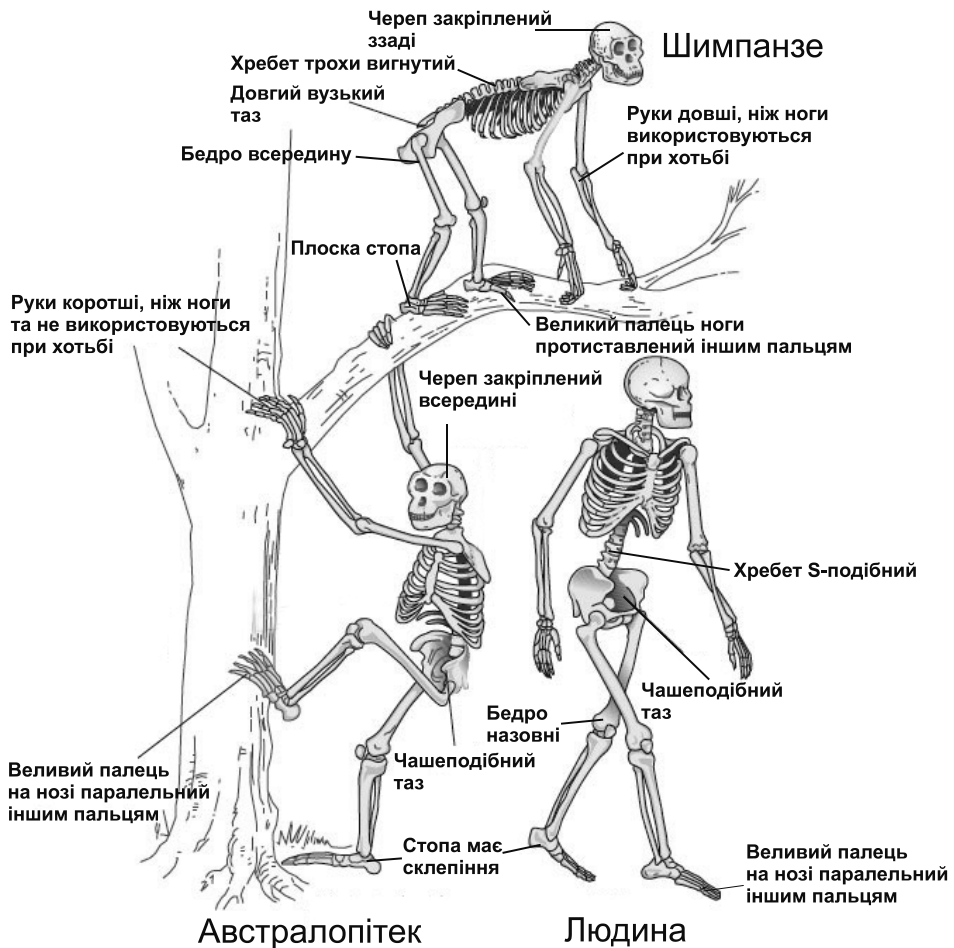
Таблиця 3.

Особливості анатомії людини, успадковані від предків

Час появи	Таксономічна одиниця	Спільні елементи будови організму
215 млн років тому	Клас Ссавці 	Людина має такі ж системи органів, як і інші ссавці: наявні діафрагма, яка розділяє порожнину тіла на грудний і черевний відділи; молочні залози, зуби, які діляться на різці, ікла і корінні, вушні раковини, постійна температура тіла, чотирикамерне серце та ліва дуга аорти.

75 млн років тому	Ряд Примати (лемури, довгоп'яти, широконосі та вузьконосі мавпи) 	П'ятипалі кінцівки з протиставленим великим пальцем, здатність до захоплювання і утримання предметів, кігті замінюються на нігті, а подушечки пальців стають органами дотику. Верхні кінцівки набувають здатності до обертальних рухів у ліктях, добре розвинений плечовий пояс. Розвиток одержали слух і зір (кольоровий і стереоскопічний: очі приматів розташовані в одній площині і направлені вперед, а не з боків голови, як у багатьох ссавців). Розмноження перестав бути сезонним.
33 млн. років тому	Група Вищі примати (мартишки, макаки, гібони, гомініди) 	Розвинені півкулі головного мозку, зменшення співвідношення лицьового та мозкового відділів, відбулася певна редукція нюху.
8 мил. років тому	Родина гомініди (орангутанги, горіли, шимпанзе, люди) 	Укріплення тазового відділу — зменшення грудного та поперекового відділу, та збільшення крижового відділу хребта. Хвіст відсутній, куприкові хребці — залишок хвостового відділу. Є апендикс (спадок від рослинної предків), борозни та звивини у головному мозку, групи крові, слабо розвинений волосяний покрив, мімічна мускулатура
2,3 млн. років тому	Рід людина 	Великий головний мозок, середній об'єм якого становить 1500 см ³ ; прямоходіння, що привело до змін будови стопи (аркоподібна стопа з великим пальцем, не протиставленим іншим); нижні кінцівки масивні, S—подібна форма хребта, чіткий поперековий вигин, широкий низький таз. Лицьовий відділ черепа розвинений менше ніж мозковий, є підборіддя. Наявність голосового м'язу гортані.

Походження і розвиток людина в біологічному, психічному і соціокультурному плані вивчає **антропогенез** (грец. *antropos* — людина, *genesis* — виникнення). Найважливішими з усіх ознак, які відокремлюють людину від мавп, вважають прямоходіння, пристосування кісті руки до тонких маніпуляцій, розвинений головний мозок (мал. 72). Усі ці ознаки утворювалися в антропогенезі досить синхронно, але дещо раніше в еволюційному плані виникло прямоходіння. Розвиток *бінедії* (вертикальна хода на двох ногах) тісно пов'язаний з соціумом і належить до навичок, яким потрібно навчатися: діти, яких виховали тварини, не мають навіть навичок прямоходіння. Також, лише людині як біологічному виду властиві свідомість, як здатність до пізнання зовнішнього світу і своєї особистої природи, мислення і мова.

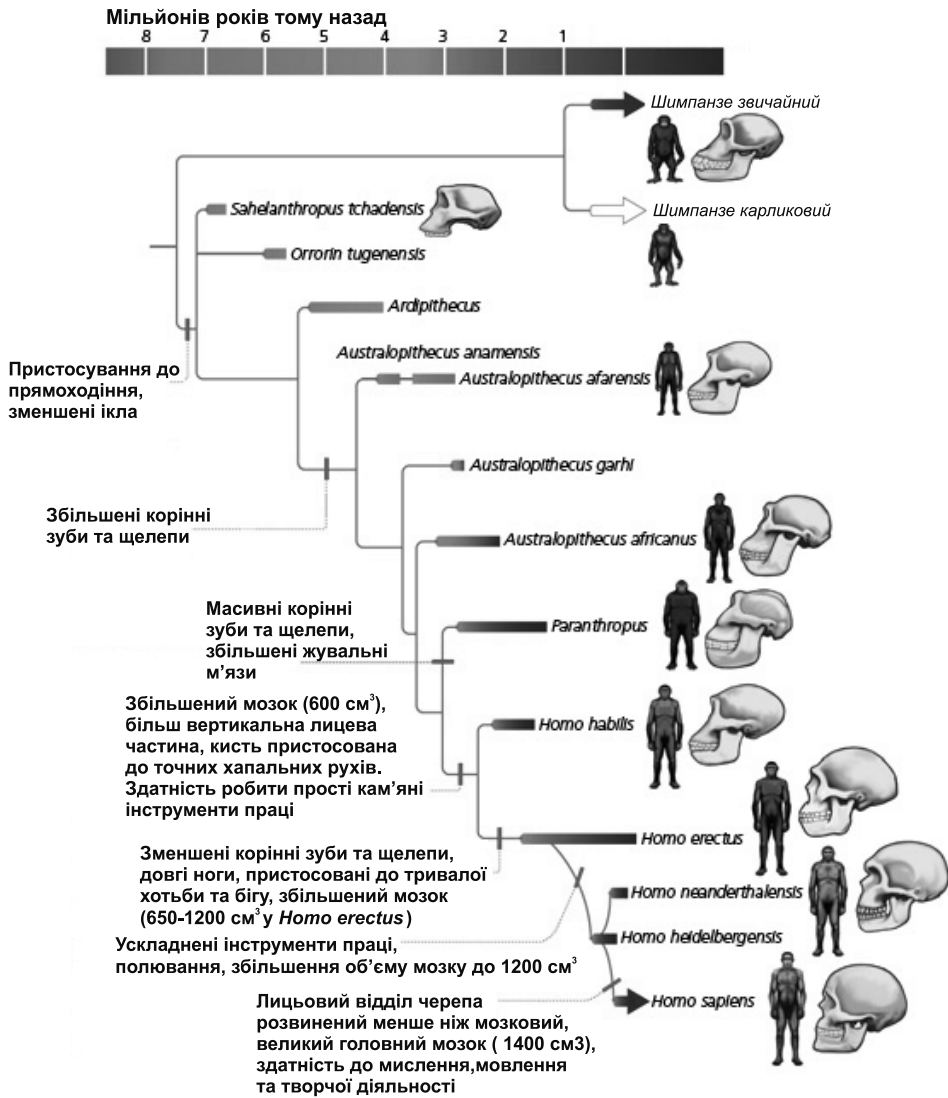


Мал. 72. Порівняння будови скелетів шимпанзе, австралопітека та людини. Відмінності скелетів відображають комплекс ознак, який сформувався у людини внаслідок прямоходіння

Еволюція людини

За досить значний проміжок часу, який охоплює більш ніж 6 млн років, із предкових форм людини сформувався вид *Homo sapiens*, який за адаптивними можливостями значно перевищує усі інші види ссавців. Це зумовлено специфікою еволюції людини, яка була спрямована не на утворення безлічі дрібних пристосувань до конкретних умов існування, а на вироблення універсального відношення до навколишнього середовища за рахунок розвитку свідомості, членороздільної мови та трудової діяльності (мал. 73). Величезну роль у формуванні цих процесів відіграла модифікація групової поведінки тварин і розвиток соціальних відносин.

Ватро зазначити, що хоча еволюція людини і привела до формування організму із високою пристосувальною здатністю, все ж фізична будова людини не є ідеальною: набуття прямоходіння призвело до виникнення великих проблем з народженням дітей, для людей властиві також випадіння міжхребцевих дисків, варикозне розширення вен, плоскостопість. Зменшення лицьового черепа стало причиною частих захворювань зубів.



Мал. 73. Філогенетичне дерево Людини розумної



1. Чому (при адаптації до яких умов чи внаслідок яких змін) в предків людини зник хвіст? Замість кігтів утворилися нігті? Виник вигин стопи?

2. Розсортуйте біологічні особливості людини в залежності від того, від якого з предків вони успадковані.

Обговоріть у групах



Чи можуть сучасні людиноподібні мавпи стати розумними? Інші тварини?

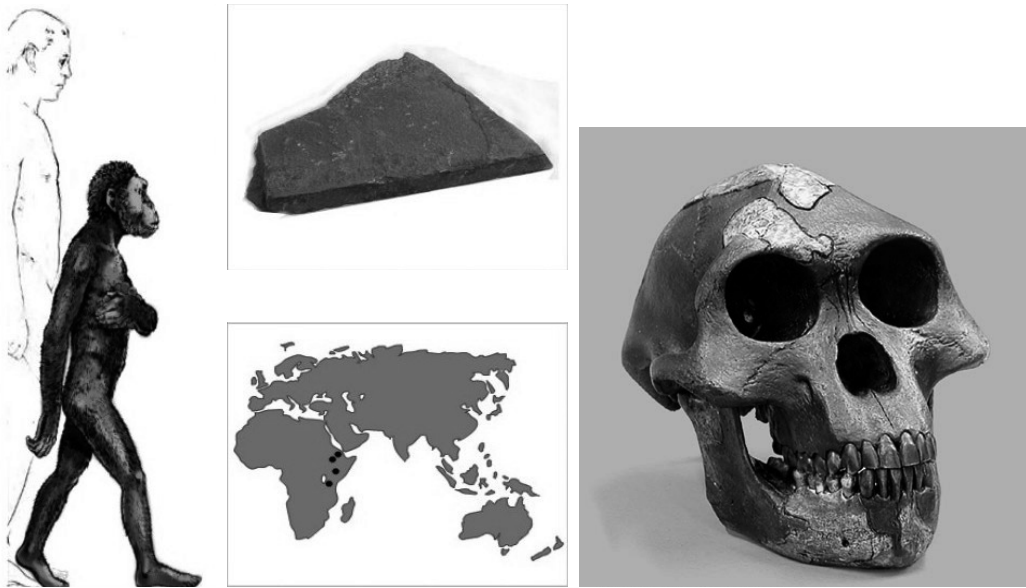
Австралопітеки. Архантропи, палеантропи, неантропи. Сучасне людство



Запам'ятайте терміни: передгомінідна стадія, австралопітек, архантропи, палеантропи, неантропи, пітекантропи, неандертальці, кроманьонці

Передгомінідна стадія

Приблизно 4 мільйонів років тому від спільних предків людини і людиноподібних мавп відділилися перший людиноподібні істоти. Природно, їх ще не можна було назвати людьми в повному розумінні слова. Вони мали досить невеликий об'єм мозку (близько 500-600 см³ — майже такий, як у сучасних горил). Ці істоти отримали назву *австралопітеки* (лат. *australis* — південний, а *pithec* — мавпа). Австралопітеки прекрасно рухалися в випрямленій положенні та мали повністю сформований комплекс ознак будови тіла, пов'язаний з прямоходінням. Ріст австралопітеків був близько метра (але були низькорослі та високорослі види), тривалість життя ледь сягала 20 років. Час його існування доводиться на епоху раннього палеоліту (кам'яного віку). В даний час практично всі дослідники поділяють точку зору про те, що австралопітеки були «побічної» гілкою еволюції гомінід; найближчим до роду Людина був вид австралопітек афарський (австралопітек з Афара, мал. 74).



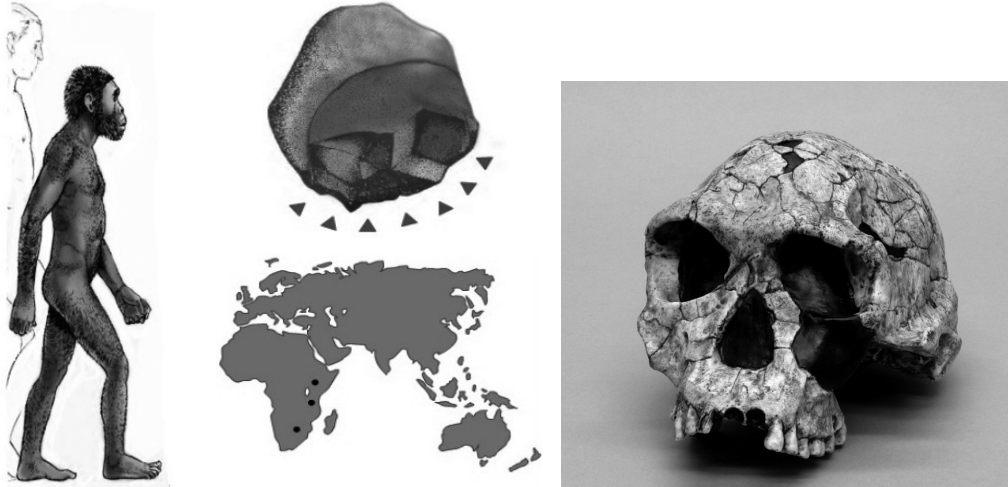
Мал. 74. Австралопітек з Афара: ліворуч — реконструкція зовнішнього вигляду (порівняно з сучасною людиною), по центру: знаряддя праці та кількість ударів, необхідних для її виготовлення, та поширення; праворуч — череп

Ще одним представником цієї стадії антропогенезу була Людина вміла (мал. 75). Це вид вже належить до роду Людина. Встановлено, що людина вміла виготовляла перші знаряддя праці (рубила, або чоппери) з гальки; для цього їй було необхідно суттєве вдосконалення розумової діяльності (розширення об'єму оперативної пам'яті до 3 одиниць — щоб одночасно тримати в увазі саме рубило, камінь-наковадло та камінь, за допомогою якого відколювалися відщепи).

Архантропи

Наступний представник на сходах еволюційного розвитку людини іменується *пітекантропом* (мавполюдиною), рід Людина прямо ходяча (мал. 76); обидві назви носять історичний характер і не відповідають реальному положенню та біології цих викопних людей). Об'єм його мозку становив близько 900 см³. Пітекантроп ходив подібно сучасній людині, і був трохи

нижчий від середнього сучасного європейця — 165-170 см. Чи умів пітекантроп виготовляти знаряддя праці? Вчені дали ствердну відповідь: пітекантроп виготовляв найпростіші знаряддя праці або в усякому разі міг це робити. Це були грубі знаряддя з кременю, трикутної форми рубала. Час існування пітекантропа позначено середнім палеолітом (600-100 тисяч років тому).

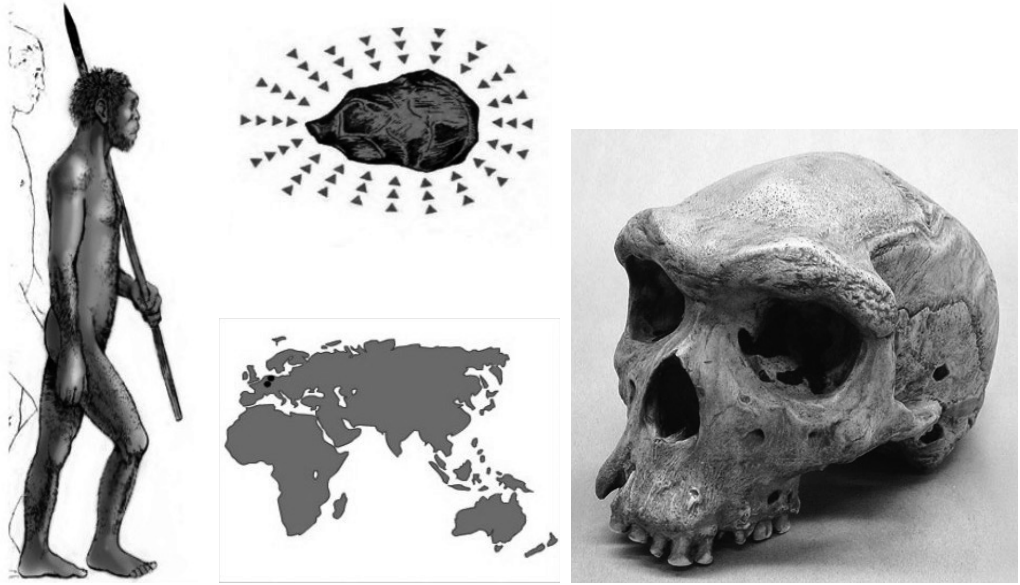


Мал. 75. Людина вміла: ліворуч — реконструкція зовнішнього вигляду (порівняно з сучасною людиною), по центру: знаряддя праці та кількість ударів, необхідних для її виготовлення, та поширення; праворуч — череп



Мал. 76. Людина прямоходяча: ліворуч — реконструкція зовнішнього вигляду (порівняно з сучасною людиною), по центру: знаряддя праці та кількість ударів, необхідних для її виготовлення, та поширення; праворуч — череп

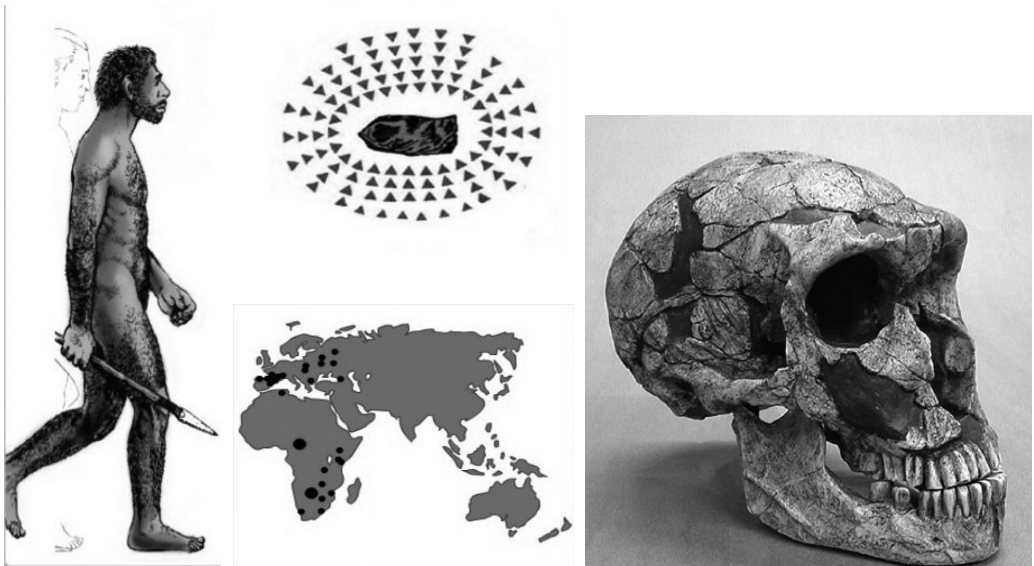
Ще одним представником цієї стадії антропогенезу була людина з Хайдельберга (мал. 77). Для неї притаманні більш складні знаряддя праці; вважається, що саме цей викопний вид дав початок наступній стадії антропогенезу — палеоантропам.



Мал. 77. Людина з Хайдельберга: ліворуч — реконструкція зовнішнього вигляду (порівняно з сучасною людиною), по центру: знаряддя праці та кількість ударів, необхідних для її виготовлення, та поширення; праворуч — череп

Палеантропи

Уявлення про наступний етап антропогенезу сформулювалися на основі палеонтологічних знахідок, зроблених в долині Неандерталь біля Дюссельдорфа (Німеччина). Так в науковій літературі з'явився термін *неандерталець* (мал. 78). За об'ємом мозку (від 1200 до 1600 см³) неандерталець не поступався перед сучасній людині, іноді навіть перевершував її. Але, незважаючи на великий об'єм мозку, розумовий апарат неандертальця залишався недосконалим.



Мал. 78. Людина неандертальська: ліворуч — реконструкція зовнішнього вигляду (порівняно з сучасною людиною), по центру: знаряддя праці та кількість ударів, необхідних для її виготовлення, та поширення; праворуч — череп

Період існування неандертальця припадає на несприятливий кліматичний період — льодовиковий період (60–28 тисяч років до н. е.). Неандерталець мешкав в домах-базах, інколи — в печерах; умів шити собі одяг, тобто йому були відомі такі знаряддя праці, як голка, спи́с, скребок і т. ін. У цей же період відбулася так звана «неолітична революція», в результаті якої неандерталець винайшов лук, що дійсно стало революційним моментом в його житті. Тепер йому стало легше вести полювання, а раціон харчування поповнився новими видами їжі (птиця, нові види тварин).

Неоантропи

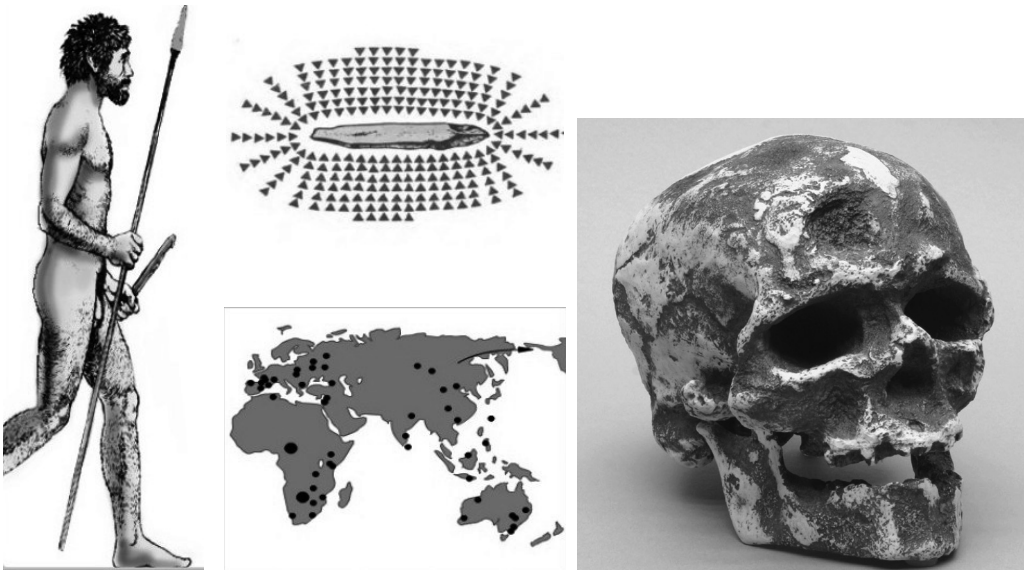
Наступний представник предків людини на сходах еволюції — *кроманьйонець* — представляв собою людину в сучасному розумінні слова. Епоха, в яку жив кроманьйонець, припадає на період з 40-го по 10-е тисячоліття до нашої ери. Перші знахідки скелета кроманьйонця були зроблені в 1868 році на південному заході Франції в печері Кро-Маньйон (мал. 79). Кроманьйонці успадкували від своїх предків великий мозок і досить практичну технологію, завдяки чому у відносно короткий проміжок часу зробили небачений крок вперед.

Всі кроманьйонці користувалися тими чи іншими кам'яними знаряддями і займалися полюванням і збиранням. Вони досягли разючих досягнень, розселилися по всіх географічних областях, придатних для проживання. Кроманьйонці створили перші примітивні форми випалу гончарних виробів, будували для цього печі і навіть випалювали вугілля. У майстерності обробки кам'яних знарядь вони перевершили своїх предків, навчилися робити всілякі знаряддя, зброю і пристосування з кістки, бивнів, оленячих рогів і з дерева.

Всі сфери діяльності кроманьйонців були вдосконалені в порівнянні з їх предками. Вони виготовляли кращий одяг, споруджували більш великі житла і їли набагато різноманітнішу їжу, ніж їх попередники.

Крім усього іншого, вчені встановили, що у кроманьйонців було ще одне важливе нововведення — мистецтво. Стіни печер, де збиралися кроманьйонці, покривали намальовані та вирізані малюнки, дуже виразні та динамічні.

Кроманьйонець відрізнявся від своїх попередників фізіологічними характеристиками. По-перше, череп кроманьйонця в усьому схожий на череп сучасних людей: чітко виражений підборіддя виступ, високе чоло, дрібні зуби, обсяг мозкової порожнини відповідає сучасному. По-друге, йому притаманні фізичні особливості, необхідні для формування складної мови: будова порожнин носа і рота, а також гортані давали йому можливість оформляти і видавати чіткі звуки, набагато більш різноманітні, ніж ті, які були доступні попередникам.



Мал. 79. Людина розумна: ліворуч — реконструкція зовнішнього вигляду, по центру: знаряддя праці та кількість ударів, необхідних для її виготовлення, та поширення; праворуч — череп

Порівняння стадій антропогенезу

Назва	Стадія антропогенезу	Зріст, см	Маса, кг	Об'єм мозку, см ³	Біологічні та соціальні ознаки
Австралопітек з Афара	Передгомінідна	100-130	30	500	Прямоходіння, використання різних предметів
Людина вміла	Передгомінідна	120-150	50	750	Виготовлення знарядь праці (чоппери)
Людина прямоходяча	Архантропи	150-160	60-65	850-1100	Мова (примітивна, що складається з окремих вигуків).
Людина з Хайдельберга	Архантропи	150-160	60-65	1100-1250	Прості форми колективної діяльності, підтримка вогню
Людина неандерталець	Палеоантропи	160-170	65-70	До 1500	Мова (певні форми белькотіння). Складні форми колективної діяльності (спільне полювання), турбота про ближніх. Добування вогню.
Людина розумна (кроманьйонець)	Неоантропи	180-182	70	Ок. 1400	Справжня мова. Мислення, мистецтво. Розвиток сільського господарства, ремесел, релігії.

Сучасне людство

За своєю зовнішністю «люди розумні», що жили в різних країнах, відрізнялися один від одного. Такі природні умови, як велика кількість або нестача сонячних днів, різкі вітри, що несуть хмари піску, сильні морози, наклали свій відбиток на зовнішній вигляд людей. Почався їх поділ на три основні раси: європеїдну, афронегроїдну і та монголоїдну. Втім, деякі вчені виділяють більшу кількість рас (від чотирьох до одинадцяти). Сучасні процеси глобалізації та міграцій зумовлюють змішення рас та утворення нових спільнот.



1. Складіть графік збільшення росту та об'єму мозку протягом еволюційного розвитку людини.
2. Подивіться мал. 74-79. Які фактори вплинули на поширення різних давніх людей Земною кулею?
3. Опишіть пристосування різних рас до умов існування їхніх предків.

Обговоріть у групах



Чи зникнуть раси у майбутньому? Застосуйте знання з генетики для обґрунтування своїх поглядів.

Людство і біосфера. Антропічний фактор



Запам'ятайте терміни: антропічний фактор, відновлювальні та не відновлювальні ресурси

Вплив діяльності людини на стан біосфери

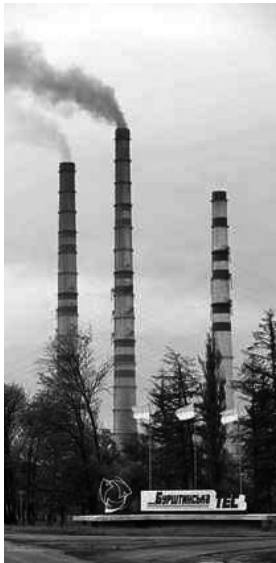
Людина також впливала і продовжує впливати на навколишнє середовище. Особливості людської життєдіяльності дозволяють відвести даному виду окреме місце у системі зв'язків живих істот між собою та з навколишнім середовищем, а фактори, що пов'язані з його діяльністю — в окрему групу **антропічних факторів**.

Біотичні фактори, пов'язані з прямим впливом людини як живої істоти, на інші види (наприклад, вилов риби чи мисливство, пряме знищення первоцвітних чи лікарських рослин шляхом збирання), називаються *антропогенними*.

Однак людина впливає на природу не лише прямо, а й опосередковано — через продукти своєї господарської діяльності. Бурхливий розвиток техніки вимагає внесення значних змін у неживу природу. До таких змін належить видобування корисних копалин, зміна рельєфу, осушення водойм, зміна хімічного складу гідросфери та атмосфери шляхом викидання відходів виробництва тощо. Такі антропічні фактори називаються *техногенними*. Також зміни у природі, спричинені людиною, можуть біти наслідком її сільськогосподарської діяльності. Фактори, спричинені цими змінами, називаються *агрогенними*.

З початку свого існування людство впливало на біосферу. Однак саме останнім часом даний вплив став найбільш помітним та найбільш згубним. Технічні досягнення людини, зростання потреби у енергоємних природних ресурсах, бурхливе зростання чисельності людства — все це створює значне навантаження на планету в цілому та біосферу зокрема.

Зростаюча потреба людини в енергії для підтримання функціонування техніки зумовила гостру потребу у **природних ресурсах**, що можуть давати енергію. Переважно зараз використовується енергія від спалювання нафти, кам'яного вугілля та інших корисних копалин. Проблемою є те, що дані ресурси належать до *невідновлюваних*, а отже, рано чи пізно вичерпаються. *Відновлювані* природні ресурси з енергетичної точки зору — це Сонце, рух повітряних мас, різниця температур у надрах Землі та на її поверхні тощо. Однак відновлювані ресурси не дають такої кількості енергії, як невідновлювані, тому можуть покрити енергетичну потребу лише невеликих держав. Перспективним джерелом енергії є ядерні реакції, однак і вони базуються на руді радіоактивних елементів, а отже — на невідновлюваному ресурсі (мал. 80-82).



Мал. 80. Бурштинська ТЕС (працює на кам'яному вугіллі)



Мал. 81. Мирнівська вітрова електростанція



Мал. 82. Рівненська АЕС

Стрімке зростання чисельності людства спричинило брак ще одного важливого для підтримання життєдіяльності ресурсу — **продовольства**. Хоча ресурси біосфери належать до відновлюваних, ні природні, ні штучні угруповання не встигають відновлювати біомасу у тому темпі, у якому виникає потреба в їжі. Виходом можуть стати трансгенні рослини, продукція біомаси у яких значно вища, аніж у звичайних. Проблема продовольчої кризи полягає не лише у браку продуктів, а й у нерівномірному їх розподілі між державами світу.

Діяльність людини спричинила також брак на планеті **питної води**. Забруднення водою, опустелювання значних територій, висихання річок та падіння рівня ґрунтових вод — ось причини цієї кризи. У багатьох державах економія води стала невід’ємним компонентом внутрішньої політики, таким, як сплата податків чи обов’язкова шкільна освіта. Розробляються також технології опріснення морської води чи використання льодовиків.

Забруднення планети

Технічна та господарська діяльність людини породжує велику кількість відходів. Ці відходи неминуче потрапляють на поверхню планети, у гідросферу та атмосферу, вносячи нехарактерні для нормального функціонування біосфери хімічні сполуки. Однак забруднення — це не лише потрапляння шкідливих хімічних речовин у навколишнє середовище. Під поняття «забруднення» підпадає також аномальне підвищення нормального рівня природних для середовища факторів.

Основними факторами забруднення (мал. 83) є:

Зміна газового складу та властивостей атмосфери. Надмірне виділення вуглекислого та інших парникових газів, потоншення озонового шару, зменшення надходження кисню унаслідок вирубування тропічних лісів — усе це модифікує склад атмосфери та порушує баланс між її компонентами. Одним з наслідків такого втручання є руйнування озонового шару в атмосфері, який захищає поверхню планети від жорсткого ультрафіолетового випромінювання Сонця.

Розсіювання продуктів згоряння палива в атмосфері є причиною виникнення таких негативних атмосферних явищ, як смог. Ще одним наслідком є кислотні дощі. Унаслідок згоряння палива в атмосферу виділяється велика кількість газоподібних оксидів, що при взаємодії з водою утворюють кислоти, які й проливаються на Землю у вигляді кислотного дощу. Найбільш кислотний дощ випав у 1974 році у шотландському місті Пітлокрі. Його водневий показник рН склав 2,4 (такий саме, як у харчової оцтової кислоти).

Забруднення води, повітря та ґрунту токсинами призводить до загибелі організмів, що живуть у цих середовищах, а також до збіднення видового різноманіття у майбутньому. Забруднювати вказані середовища можуть і речовини, що не мають прямої токсичної дії, однак згубно впливають на живі організми. Зокрема, при виливах нафти у море птахи гинуть не від отруєння нафтою, а від того, що ця речовина змочує їх пір’я, вимиваючи спеціальний жир, завдяки якому птахи тримаються на воді.

Радіоактивне зараження поверхні планети має довготривалі наслідки, призводить до виникнення мутацій і, як наслідок — до непередбачуваних змін у біосфері.

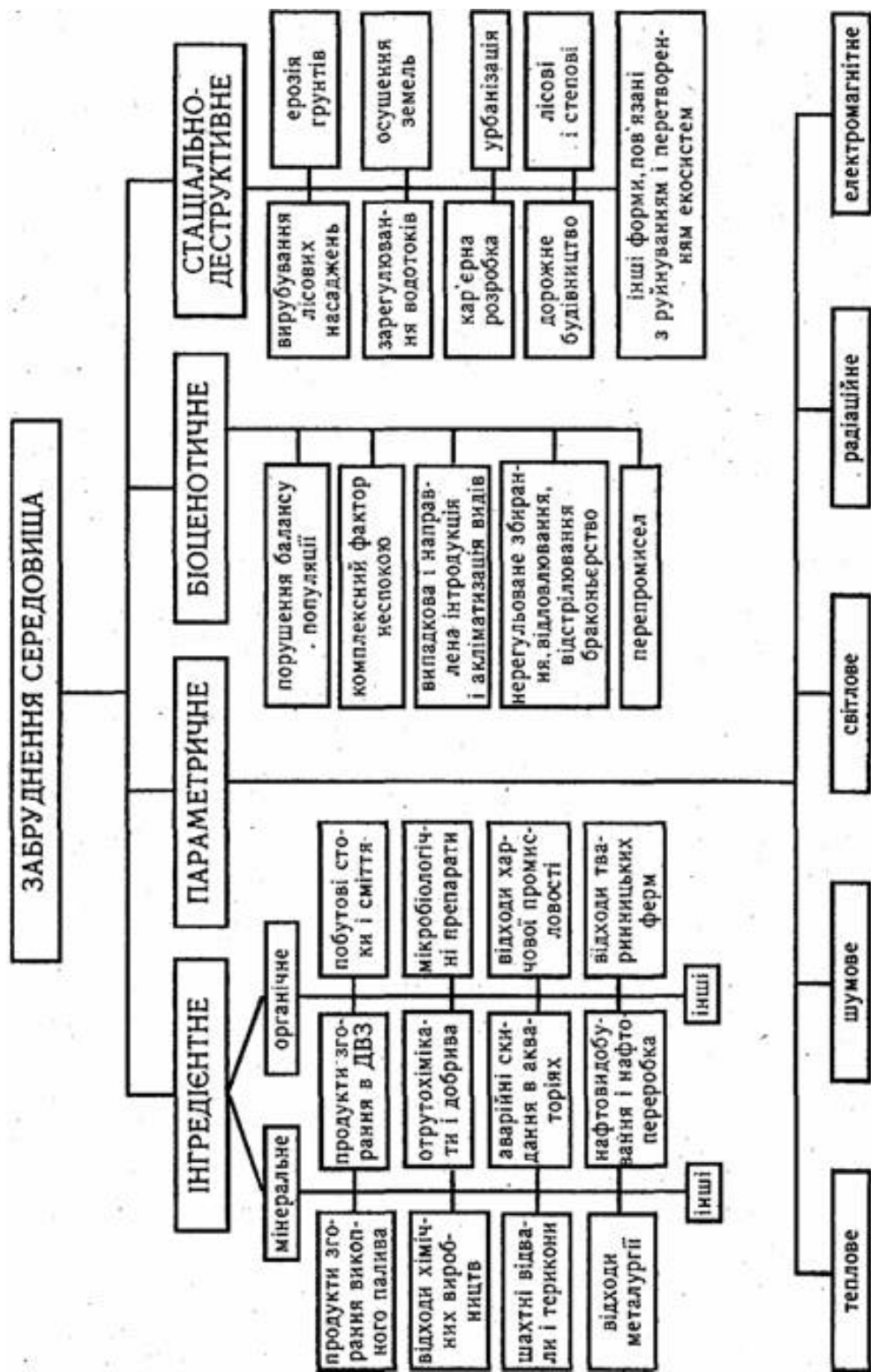
Забруднення середовищ хвороботворними організмами з відходів може спричинити пошесті як серед людей (епідемії), так і серед тварин (епізоотії).

Надлишкове надходження біогенів у водойми призводить до евтрофікації водою, надмірного їх замулювання, заморів риби.

Параметричне (теплове, шумове, електромагнітне та ін.) забруднення середовища виявляється при великих значеннях забруднюючого фактора, значно перевищуючих природний рівень. У таких надмірних кількостях воно негативно впливає на життєдіяльність людини і тварин. Таке забруднення має й інші наслідки — зокрема, у великих містах зі значним освітленням вже неможливо побачити деякі зірки та Молочний Шлях.

Ноосфера

Останнім часом усе більшої важливості набуває розділ вчення Вернадського, пов’язаний із впливом на планету людини та формуванням **ноосфери**. Висловлені у зв’язку з цим ідеї Вернадського були тісно пов’язаними із його основним предметом дослідження — геохімією. Вчений вважав людство повноцінною геологічною силою, такою ж, як і сили природи. Головну причину такої успішності людства у царині геохімічних перетворень Вернадський вбачав у соціальній активності людини та двох головних її результатах — розумі та волі. Людство змінює геохімічні колообіги, втручаючись в функції біосфери. В результаті відбувається еволюція людства у напрямку відособлення від решти біосфери.



Мал. 83. Класифікація забруднень

На ґрунті цих спостережень Вернадський сформулював концепцію ноосфери — стану біосфери, за якого розумна діяльність людини стає основним фактором її розвитку.

Питання визначення та меж існування ноосфери у просторі та часі є досі дискусійним. На думку Вернадського, еволюція ноосфери у напрямку відходу від біосфери триває і результат її можна буде спостерігати лише у віддаленому майбутньому. Деякі сучасні вчені вважають, що ноосфера — об'єктивна реальність і пов'язують її із техносферою — сформованим людиною комплексом результатів втіленої технічної думки.



1. Які складові антропогенного фактору схожі на дію біотичних факторів, які — абіотичних?
2. Роздивіться схему на мал. 83. Назвіть своїми словами кожен з чотирьох великих груп факторів забруднення.

Обговоріть у групах



Чи можна вважати всесвітню мережу Інтернет своєрідним втіленням ідеї ноосфери?

Глобальні проблеми біосфери. Охорона природи і збереження біорізноманіття



Запам'ятайте терміни: національний парк, заповідник, заказник

Збереження біорізноманіття

Діяльність людини чинить негативний вплив також на видову різноманітність рослин і тварин. Опустелення територій, пересихання водойм, вирубування лісів та інші процеси що супроводжують діяльність людини, ведуть до руйнування природних біотопів, порушення балансу в угрупованнях і, як наслідок, різкого скорочення чисельності або вимирання видів. Види, рослин, тварин та грибів, що потребують охорони, занесені до Червоної Книги. Ця книга видається Міжнародною спілкою охорони природи (МСОП). Окрім Червоної Книги, існують додаткові документи — Червоні Списки. І Червоної Книга, і ці документи мають рекомендаційний характер і заходи охорони, прописані в них, не є обов'язковими до виконання державами.

Окрема Зелена Книга обліковує види рослин, що потребують захисту. Останнім часом швидко поповнюються сторінки Чорної Книги, у яку заносять інформацію про види, які повністю вимерли.

Збереження біологічного різноманіття є предметом великої кількості міжнародних угод. Однак окремі держави не дотримуються цих угод з причин економічної ситуації — збереження біологічного різноманіття потребує вкладення значних коштів.

Як правило, збереження різноманіття видів відбувається шляхом ізоляції території, що є біотопом цих видів та мінімізації впливу на неї господарської діяльності людини. Виділяють такі типи природоохоронних територій:

- **Природний парк** — територія або акваторія (ділянка водного середовища), що має значення як унікальний природний комплекс із великим видовим різноманіттям та наявністю унікальних видів живих організмів. На території природного парку допускається наукова діяльність та туризм.
- **Резерват** — територія або акваторія, на якій особливій охороні підлягає певний вид, група видів або природний комплекс.
- **Заказник** — територія або акваторія, на якій під охороною знаходяться компоненти природного комплексу і частково дозволена господарська діяльність, що може вплинути на об'єкт охорони.
- **Заповідник** — охоронна територія або акваторія, на якій заборонена будь-яка господарська діяльність людини.

-
- **Біосферний заповідник** — особливий тип природного комплексу, що перебуває під охороною і має особливе значення для збереження біосфери або демонстрації збалансованої взаємодії людини та природи. В Україні знаходяться чотири біосферні заповідники: Асканія-Нова, Дунайський, Карпатський та Чорноморський.

Біосферні заповідники ще називають біосферними резерватами. Всі вони є частиною всесвітньої мережі біосферних резерватів, що була створена в межах програми ЮНЕСКО «Людина та біосфера».

Наукова діяльність на природоохоронних територіях включає в себе не лише спостереження за видами, що перебувають під охороною. До послуг вчених уся різноманітність сучасних біотехнологій, що дозволяє оперувати розмноженням організмів з метою підвищення чисельності особин виду.

Охорона біосфери

Охорона біосфери не зводиться до збереження видового різноманіття. Важливо обмежити глибокий вплив діяльності людини на біосферу, при цьому не обмежуючи технологічних процесів, що є життєво необхідними для людства. За всієї складності збереження цього балансу вже зараз робляться ефективні кроки щодо зменшення шкоди для планети та виправлення цієї шкоди. Так, міжнародні домовленості регулюють кількість промислових викидів в атмосферу, гідросферу та літосферу. Існує значна кількість державних програм економії природних ресурсів, використання відновлюваних джерел енергії. При побудові атомних станцій конструктори вдаються до заходів безпеки для навколишнього середовища.

Важливо зрозуміти, що процеси технологічного розвитку та підвищення чисельності людства є незворотними. Тому у суспільства немає іншого виходу окрім пошуку шляхів оптимізації своєї діяльності та приведення її у відповідність із загальними потребами біосфери.



1. Наведіть приклади природоохоронних територій різних типів.

2. Які міжнародні угоди стосуються охорони навколишнього середовища та збереження біорізноманіття?

Обговоріть у групах



Доведіть необхідність збереження біорізноманіття та утворення природоохоронних територій, використовуючи в тому числі економічні та соціальні аргументи.

Узагальнення

Основні властивості живих систем

Нагромадження знань про живе, а також завдання, що поставали перед наукою з метою розрізнення та класифікації живого та неживого, дозволили сформулювати основні властивості живих систем.

Система (від грец. поєднання, утворення, організм) — упорядковане ціле, що складається із взаємопов'язаних частин. Проте не кожна множина довільно об'єднаних об'єктів є системою. Істинна система має задовольняти таким вимогам:

Цілісність — система функціонує як єдине ціле. Вона характеризується певною структурою. Зміна складу елементів чи зв'язків між ними може зруйнувати систему (чи перетворити її на нову систему з іншими властивостями). Одні й ті самі елементи можуть належати до складу різних систем. Цілісність передбачає взаємодію елементів системи. Характер та інтенсивність цієї взаємодії можуть бути найрізноманітнішими, але вони обов'язково повинні бути. (Приклад: одні й ті самі атоми, взаємодіючи між собою, формують різні молекули. Однак молекули — не просто сума атомів. Це складна система з атомних ядер і розподілених між ними електронних хмар усупільнених електронів.)

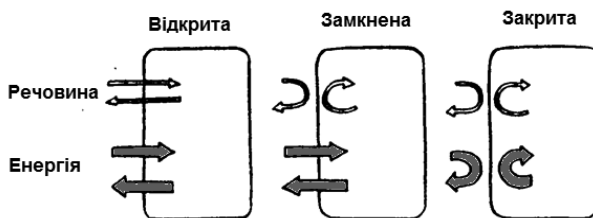
Кінцевість — система має певні (кінцеві) розміри. Об'єкти, з якими система взаємодіє, формують середовище існування системи. (Приклад: вода — це середовище існування для риб, космічний вакуум — середовище існування орбітальної станції.)

Ще однією базовою характеристикою системи є її **емерджентність** — властивості цілої системи принципово відрізняються від і не можуть бути зведені до властивостей її компонентів. Зокрема, жива клітина володіє радикально іншим набором характеристик, аніж її органили, властивості цілого організму не зводяться до властивостей окремих органів і т.д.

Більш конкретною характеристикою живої системи є **фіксованість її складу та упорядкованість**. Хімічний склад живих систем є постійним, співвідношення елементів та речовин у його складі — чітко визначеним і може змінюватися лише у невеликих межах. Усі структурні компоненти живої системи розташовані у ній в певному порядку, відповідно до виконуваних функцій та взаємодії з іншими компонентами. Прикладами такої впорядкованості може бути розташування органел у клітині, органів у організмі тощо. З цього випливає наступна риса живих систем — їх **клітинна будова**. Клітина є елементарною одиницею структури та здійснення основних життєвих реакцій у системі.

Однією з фундаментальних властивостей живих систем є здатність до здійснення обміну речовин — **метаболізму**. Такий обмін здійснюється як між компонентами такої системи, так і з зовнішнім середовищем. Поглинання та виділення речовин і енергії забезпечує їх колообіг у масштабах природи. Надходження речовин до організму здійснюється за допомогою процесу **живлення**. У живій системі відбувається розщеплення отриманих складних речовин на більш прості, що вимагає витрат енергії. Процеси, що відновлюють витрачену енергію, підтримуються шляхом **дихання**, що забезпечує надходження в систему кисню, необхідного для підтримання даних реакцій. Деякі організми, що не потребують для дихання кисню, змогли розвинути альтернативні механізми здійснення реакцій відновлення енергії.

З погляду обміну речовиною й енергією із середовищем системи поділяються на **закриті** (не обмінюються із навколишнім середовищем ані речовиною, ані енергією), **замкнені** (обмінюються тільки енергією) й **відкриті** (обмінюються і речовиною, і енергією) (рис. 84).



Мал. 84. Типи систем

Наступним комплексом фундаментальних ознак живих систем є комплекс властивостей, пов'язаний із **розмноженням та відтворенням** собі подібних.

Одним із перших етапів еволюції, що відбувалися ще до появи перших живих організмів як таких, було відособлення біомолекул, що відповідають за передачу спадкової інформації — ДНК та РНК. Ці молекули здатні до відтворення собі подібних, при цьому копія зберігає усю інформацію, що закодована в оригіналі. В подальшому живі системи утворили загальні механізми відтворення, які, тим не менше, базувалися на здатності нуклеїнових кислот подвоюватися. Такими механізмами стали, зокрема, способи поділу клітин. Передача спадкової інформації базується на двох основних явищах — спадковості та мінливості. **Спадковість** забезпечує власне передачу генетичного матеріалу та закодованих у ньому ознак майбутнім поколінням, а **мінливість** — створення нових комбінацій цих ознак, що можуть привести до вдосконалення нащадків та виду в цілому.

Динаміку життєвих циклів живих систем забезпечують здатності до **росту і розвитку**. В основі розвитку лежать якісні зміни властивостей організму, а в основі росту — кількісні зміни його параметрів. Розвиток відбувається не лише на рівні організму, а й на набагато вищих рівнях організації живого. Вдосконалення біосфери в цілому є результатом розвитку окремих груп живих організмів.

Показником взаємодії живої системи з середовищем її існування є її здатність до відповіді на дію деяких факторів середовища, або ж **подразливість**. Ця властивість включає в себе не лише сприйняття подразників, але й відповідь на них, що виражається у тій чи іншій реакції системи. Різні організми виробили різні механізми реакції на подразник — від примітивних таксисів та тропізмів до високоспеціалізованих реакцій, що є наслідком діяльності вищих рівнів розвитку спеціалізованих систем органів — сенсорних та нервової.

Будь-яка жива система є здатною до **саморегуляції** — автономного підтримання власної структури та комплексу фізіологічних процесів. Регуляторні системи існують як на низьких, так і на високих рівнях організації живого. Великий біогеоценоз здатний до саморегуляції так само, як і маленька клітина. різниця лише у комплексі регуляторних механізмів. З саморегуляції впливає властивість **ритмічності** процесів, що відбуваються всередині живих систем. Усі ці процеси мають повторюваний характер, що співвідноситься як з властивостями самої системи, так і з умовами середовища, що таким чином дозволяють досягти оптимуму у виконанні системою своїх функцій.

Усі живі системи зі своїм комплексом властивостей та ознак перебувають у гармонійній єдності з іншими живими системами та біосферою в цілому. Діяльність людини призвела до порушення цієї гармонії і спричинила виникнення низки проблем. Отже, в даний момент людина стикається як з несприятливими впливами самої природи, так і з негативними результатами власної діяльності. Розвиток сучасної біології спрямований на пошуки шляхів ефективного вирішення цих проблем.

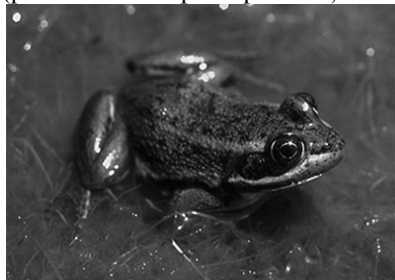
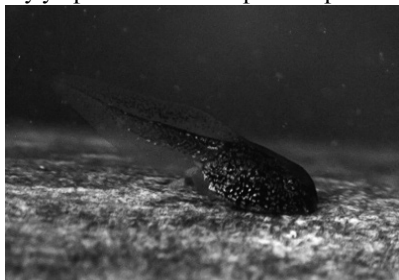
Слід розуміти, що саме поняття системи не є «біологічним»: воно значно ширше. Властивості систем притаманні як багатьом фізичним та хімічним об'єктам, так і соціумам (організованим групам людей). Отже, здатність організовуватися у системи — фундаментальна властивість матерії як такої.

Завдання

Спадковість

1. Завдання з обиранням однієї правильної відповіді

1.1. Оберіть ознаку, за якою **НЕ** відрізняються життєві форми різних стадій життєвого циклу у організмів з непрямим розвитком (розвитком з перетворенням, метаморфозом).



- А. За рухливістю
 - Б. За здатністю до розселення
 - В. За умовами існування
 - Г. За генотипом *
- 1.2. Позначте фазу мейотичного поділу, під час якої відбуваються кон'югація і кросинговер.
- А. Профаза I *
 - Б. Метафаза I
 - В. Профаза II
 - Г. Метафаза II
- 1.3. Доберіть термін, якому відповідає визначення «обмін певними ділянками між гомологічними хромосомами під час їхнього сполучення».
- А. Кон'югація
 - Б. Кросинговер *
 - В. Спіралізація
 - Г. Реплікація
- 1.4. Як змінюється кількість ДНК і хромосомний набір клітини в результаті першого поділу мейозу?
- А. Кількість ДНК зменшується в 2 рази, число хромосом зменшується в 2 рази, хромосомний набір стає гаплоїдним ($2n \rightarrow n$) *
 - Б. Кількість ДНК не змінюється, число хромосом зменшується в 2 рази, хромосомний набір залишається диплоїдним ($2n$)
 - В. Кількість ДНК зменшується в 2 рази, число хромосом не змінюється, хромосомний набір залишається диплоїдним ($2n$)
 - Г. Кількість ДНК зменшується в 2 рази, число хромосом зменшується в 2 рази, хромосомний набір залишається диплоїдним ($2n$)
- 1.5. Вкажіть назву комплексу генів, що містяться в одній хромосомі.
- А. каріотип
 - Б. геном
 - В. група зчеплення *
 - Г. генотип
- 1.6. Аллель гена, що викликає фенілкетонурію (назвемо його ген «А»), — рецесивний. Який генотип має людина, що страждає на цю хворобу?
- А. AA
 - Б. aa *
 - В. Aa
 - Г. aA

1.7. При схрещуванні яких батьків все потомство буде гомозиготним?

- А. $Aa \times AA$
- Б. $aa \times aa$ *
- В. $AA \times aa$
- Г. $Aa \times Aa$

1.8. Який з наведених генотипів відповідає генотипу рецесивного гомозиготного організму?

- А. Bb
- Б. bb *
- В. BB
- Г. Bb

1.9. При схрещуванні двох організмів, аналізованих по двох парах альтернативних (контрастних) ознак, серед потомства отримано розщеплення за фенотипом 9: 3: 3: 1. Які генотипи схрещуються організмів, якщо між алельними генами має місце повне домінування?

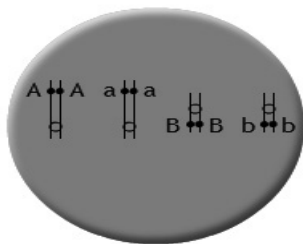
- А. $AaBb$ і $AaBb$ *
- Б. $AaBb$ і $Aabb$
- В. $AAbb$ і $aaBB$
- Г. $AaBb$ і $aabb$

1.10. Яке явище в генетиці описується наступною фразою: «Кожна ознака з однієї пари ознак може поєднуватися з будь-якоюю ознакою з іншої пари. При цьому пари ознак розподіляються по нащадкам незалежно одна від одної?»

- А. Третій закон Менделя (закон незалежного розподілу) *
- Б. Перший закон Менделя (закон однаковості)
- В. Другий закон Менделя (закон розщеплення)
- Г. Повне домінування

1.11. Скільки типів гамет утворюється в ході мейозу, зображеного на схемі?

- А. Один
- Б. Два
- В. Чотири *
- Г. Вісім



1.12. Організм аналізується за чотирма незчепленими одна з одною ознаками. Він має генотип $AAbbCcDd$ і в нормі утворює декілька типів гамет. Вкажіть один з цих типів гамет.

- А. $AbCcDd$
- Б. $AAbbCcDd$
- В. $AbCd$ *
- Г. $AbbCc$

1.13. Назвіть цитологічну основу зчепленого успадкування.

- А. При мейозі в кожну гамету потрапляє по одній хромосомі з кожної пари гомологічних хромосом і, отже, по одному алелю кожного гена
- Б. Аллели одного і того ж гена знаходяться в гомологічних одна одній хромосомах, які при мейозі розходяться по різних клітинах
- В. Аллели різних генів знаходяться в одній парі гомологічних хромосом і при мейозі потрапляють в дочірню клітину в складі однієї хромосоми *
- Г. Під час профазі першого мейотичного поділу відбувається кросинговер, або перехрест гомологічних хромосом

1.14. Різняться чи частота кросинговеру у прилеглих генів і генів, розташованих на протилежних кінцях хромосоми?

- А. Ні
- Б. Так, чим далі розташовані гени, тим вище частота кросинговеру *
- В. Так, чим далі розташовані гени, тим нижче частота кросинговеру
- Г. У деяких генів частота кросинговеру залежить від відстані, у деяких — ні

1.15. Вкажіть генотип організму, стать якого є гомогаметною.

- А. AaX^BY
- Б. $Aabb$
- В. $aaBb$
- Г. aaX^BX^b *

1.16. Вкажіть особливість спадкування ознак, розташованих в X-хромосомі.

- А. Чоловік передає своїм дочкам і не передає своїм синам *
- Б. Чоловік передає своїм синам і дочкам
- В. Чоловік передає своїм синам і не передає дочкам
- Г. Чоловік не передає ні синам ні дочкам.

1.17. У кішок колір шерсті визначається геном, істинно зчепленим зі сттю. Домінантний алель цього гена В обумовлює чорне забарвлення, рецесивний b — руде (гетерозиготи мають триколірне забарвлення). Яку стать і який фенотип має організм, генотип якого записаний як X^BX^b ?

- А. Триколірна кішка *
- Б. Чорний кіт
- В. Триколірний кіт
- Г. Руда кішка
- Д. Рудий кіт
- Е. Чорна кішка

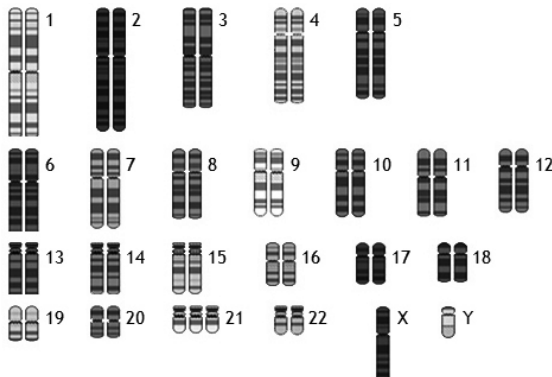
1.18. Зобразимо один з фрагментів хромосоми у вигляді такої послідовності її ділянок: ABCDEF. Вкажіть зображення видозміненого фрагмента, якщо відбудеться дуплікація — подвоєння однієї з ділянок цього фрагмента хромосоми.

- А. ABCDCDEF *
- Б. ABCDEFP
- В. ABEF
- Г. ABDCEF

1.19. Яким терміном позначають сукупність тих конкретних значень ознаки, які організм може приймати в межах природних коливань умов середовища?

- А. Фенотип
- Б. Норма реакції *
- В. Модифікаційних мінливість
- Г. Модифікація

1.20. Розгляньте наведений хромосомний набір. Яке захворювання викликається цією трисомією?

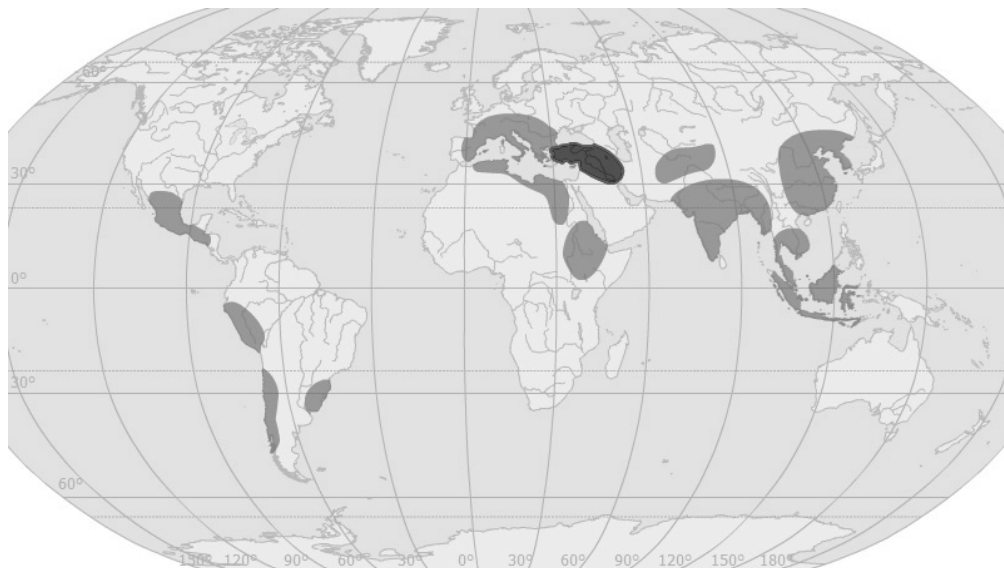


- А. Синдром Клайнфельтера
- Б. Синдром Дауна *
- В. Синдром Едвардса
- Г. Синдром Патау

1.21. Вкажіть, що з перерахованого нижче **НЕ** відноситься до хромосомних мутацій.

- А. Переміщення ділянки однієї хромосоми в іншу
- Б. Подвоєння загальної кількості хромосом*
- В. Подвоєння ділянки хромосоми
- Г. Поворот ділянки хромосоми на 180 °

1.22. Вкажіть, який центр походження культурних рослин показано на мапі.



- А. Переднеазіатський *
- Б. Середземноморський
- В. Ефіопський
- Г. Центральноамериканський

1.23. Вкажіть злакову рослину, яке було одомашнені в Центрально-Американському центрі походження культурних рослин.



1.24. Оберіть визначення терміну «клонування».

- А. отримання повноцінного багатоклітинного організму з окремої клітини тіла *
- Б. отримання гомозиготних організмів
- В. штучний синтез білків і нуклеїнових кислот поза клітиною
- Г. розмноження шляхом штучного (екстракорпорального) запліднення

1.25. Вкажіть, яка основна мета процесу клонування.

- А. Селекція чистих ліній
- Б. Поліпшення якостей порід домашніх тварин і сортів культурних рослин
- В. Отримання точних генетичних копій живих організмів *
- Г. Отримання більш плідних гібридів

1.26. Назвіть термін, що означає близькоспоріднене схрещування.

- А. Кросбридинг
- Б. Інбридинг *
- В. Аутбридинг
- Г. Міжвидова гібридизація

1.27. Оберіть один з методів, що застосовують селекції тварин.

- А. вегетативне розмноження
- Б. індукований мутагенез
- В. трансплантація ембріонів *
- Г. щеплення

2. Завдання на встановлення відповідності

2.1. Встановіть відповідність між генотипом та його фенотиповим проявом у дигібридному схрещуванні рослин гороху

(А — жовті насінини, а — зелені, В — гладкі насінини, b — зморшкуваті)

- | | |
|---------|-----------------------|
| А. AaBb | 1. зелені зморшкуваті |
| Б. aaBB | 2. жовті зморшкуваті |
| В. Aabb | 3. зелені гладкі |
| Г. aabb | 4. жовті гладкі |

* А — 4, Б — 3, В — 2, Г — 1

2.2. У кішок колір шерсті визначається геном, істинно зчепленим зі статтю. Домінантний алель цього гена В обумовлює чорне забарвлення, рецесивний b — руде (гетерозиготи мають триколірне забарвлення). Зіставте наведені генотипи з фенотипами.

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| А. X ^B X ^b | 1. Триколірна кішка |
| Б. X ^B Y | 2. Чорний кіт |
| В. X ^b X ^b | 3. Руда кішка |
| Г. X ^B X ^B | 4. Чорна кішка |

*

2.3. Установіть відповідність між рослинами і центрами, де вони були окультурені.¹

- | | |
|--|-------------------------------------|
| А. Китайська (Східно-азіатський) центр | 1. Просо, шовковиця |
| Б. Індійський (Индостанский) центр | 2. Баклажан, огірок |
| В. Південно-Американський (Андійський) центр | 3. Томат, картопля |
| Г. Переднеазіатський центр | 4. Жито, інжир |
| Д. Ефіопський (Абиссинский) центр | 5. Кава, кавун |
| Е. Середньоазіатський центр | 6. Диня, ріпчасту цибулю |
| Ж. Центральньо-Американський центр | 7. Кукурудза, соняшник ¹ |

2.4. Зіставте зображення різних сортів капусти з їх назвами.

А. Білокачанна



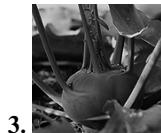
1.

Б. Кольорова



2.

В. Кольрабі



3.

Г. Брюссельська



4.

Д. Брокколи



5.

Е. Романеско



6.

¹ В завданнях на встановлення відповідності, послідовності та на класифікацію наведена правильна відповідність, яка буде змінена при верстці посібника.

Завдання на класифікацію

3.1. Установіть відповідність між наступними процесами і поділами мейозу.

- А. Перший поділ мейозу**
1. В анафазі розходяться до полюсів клітини гомологічні хромосоми
 2. В метафазі в екваторіальній площині клітини розташовуються біваленти хромосом
 3. У профазі спостерігається кон'югація хромосом
- Б. Другий поділ мейозу**
4. Кон'югації хромосом в профазі не спостерігається
 5. В анафазі до полюсів клітини розходяться хроматиди
 6. У метафазі в екваторіальній площині клітини розташовуються окремі хромосоми

*

3.2. Установіть відповідність між наступними процесами і типами поділу клітини.

- А. Митоз**
1. Кон'югації хромосом в профазі не спостерігається
 2. Утворилися клітини мають такий же хромосомний набір, як і материнська клітина
- Б. Мейоз**
3. У профазі першого поділу спостерігається кон'югація хромосом
 4. Хромосомний набір утворилися клітин вдвічі менше, ніж у материнської клітини

*

3.3. Які з перерахованих ознак охарактеризує генотип, а які — фенотип?

- А. Генотип**
1. Не залежить від умов навколишнього середовища
 2. Локалізований в ДНК
- Б. Фенотип**
3. Залежить від умов навколишнього середовища
 4. Складається із сукупності зовнішніх і внутрішніх, фізичних і хімічних ознак організму

*

3.4. Зіставте зміни в генетичному матеріалі з одним з типів мутацій.

- А. Хромосомні мутації**
1. Переміщення ділянки однієї хромосоми в іншу
 2. Втрата ділянки хромосоми
 3. Подвоєння ділянки хромосоми
 4. Поворот ділянки хромосоми на 180°
- Б. Геномні мутації**
5. Зменшення вдвічі загальної кількості хромосом
 6. Подвоєння загальної кількості хромосом *

*

3.5. Основними напрямками селекції великої рогатої худоби було виведення м'ясних і молочних порід. Зіставте наведені в завданні породи худоби з їх сільськогосподарським призначенням.

А. М'ясні



1. Герефордська



2. Абердин-ангуська



3. Голштинська

Б. Молочні



4. Джерсейська



5. Холмогорська

*

3.6. Зіставте наведені на фотографіях породи коней з їх призначенням.

А. Верхові



1. Арабська



2. Ахалтехінська



3. Англійська чистокровна

Б. Важковозні



4. Битюг



5. Володимирська

3.7. Біотехнологія вже добилася великих успіхів, але ще більше завдань, які їй тільки належить вирішити. Розсортуйте завдання біотехнології.

А. Вже вирішені 1. Модифікувати мікроорганізми для синтезу корисних білків

2. Клонувати багатоклітинні рослини

3. Клонувати ссавців

Б. Ще не вирішені 4. Синтезувати генні препарати для терапії всіх форм раку

5. Розробити економічно виправдану технологію синтезу біопалива

6. Розробити технології промислового клонування всіх тканин і органів

*

4. Завдання на встановлення послідовності

4.1. Розташуйте у правильному порядку стадії гаметогенезу.

А. Стадія дозрівання

Б. Стадія розмноження

В. Стадія формування

Г. Стадія росту

* БГАВ

4.1. Розставте по порядку стадії ембріонального розвитку хордових.

А. Дроблення заплідненої яйцеклітини

Б. Утворення бластули

В. Утворення гастрული

Г. Закладка мезодерми — третього зародкового листка

* Д. Утворення нейрули

4.1. Розставте мутації в порядку зростання кількості залученого до них генетичного матеріалу.

А. Точкова заміна нуклеотиду

Б. Делеція триплета

В. Вбудовування в хромосому вірусної ДНК

Г. Трисомія (в клітці присутня не 2, а 3 гомологічних хромосоми)

* Д. Поліплоїдія

4.1. Розташуйте живі організми в порядку «одомашнення» їх людиною.

А. Собака

Б. Свиня

В. Кінь

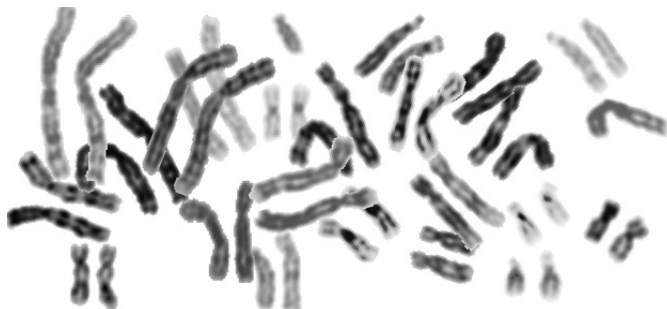
Г. Бджола

Д. Генетично модифіковані бактерії

-
- 4.2. Розташуйте в хронологічному порядку освоєння людством біотехнології.
- А. Використання дріжджів в хлібопеченні та виноробстві
 - Б. Промислове виділення інсуліну з підшлункової залози великої рогатої худоби
 - В. Промислове виділення пеніциліну з грибків роду пеніциллум
 - Г. Промисловий синтез інсуліну генетично модифікованими бактеріями
 - Д. Клонування ссавців
- 4.3. Розташуйте у правильному порядку етапи процесу клонування тварин:
- А. видалення з яйцеклітини її власного ядра
 - Б. введення ядра соматичної клітини в без'ядерну яйцеклітину
 - В. стимуляція дроблення та отримання кількадечного ембріона
 - Г. перенесення ембріона в матку самки
- 4.4. Розставте в хронологічному порядку етапи розвитку біотехнології.
- А. Використання випадкових мікроорганізмів у приготуванні харчових продуктів
 - Б. Цілеспрямований відбір культур (зақвасок) для поліпшення якості харчових продуктів
 - В. Виявлення нових корисних властивостей і виділення відповідних речовин із специфічних клітин, штамів
 - Г. Спрямована зміна генотипів прокаріот, отримання організмів-«суперпродуцентів»
 - Д. Спрямована зміна генотипів еукаріот

5. Відкриті завдання:

- 5.1. Наведіть приклади вегетативного розмноження культурних рослин.
- 5.2. Які недоліки нестатевого розмноження ви можете проілюструвати прикладами?
- 5.3. Яке значення для людини має відмінність в процесах сперматогенезу та оогенезу?
- 5.4. Знайдіть хромосоми всіх типів на мікрофотографії каріотипу людини.



- 5.5. Запропонуйте комплекс медико-генетичних заходів для своєчасного запобігання спадковим захворюванням.
- 5.6. Перерахуйте причини, за якими гібридологічний метод неможливо застосовувати в генетиці людини.
- 5.7. Чому більшість Х-зчеплених спадкових захворювань проявляються лише у чоловіків?
- 5.8. Які корисні ознаки, що виникли внаслідок мутацій певних генів, ви знаєте?
- 5.9. З чим пов'язана зміна кількості еритроцитів у крові під час переїзду у гори і назад?
- 5.10. Чому норма реакції маси мозку менша, ніж норма реакції маси тіла? Відповідь обґрунтуйте.
- 5.11. Яка форма штучного відбору застосовується при селекції плідників великої рогатої худоби?
- 5.12. Обґрунтуйте значення створення музеїв культур мікроорганізмів та рослин.
- 5.13. Наведіть морально-етичні аргументи за та проти застосування сучасних біотехнологій.

Організм і довкілля

1. Завдання з обиранням однієї правильної відповіді

1.1. Укажіть, хто з вчених є автором назви науки «екологія»?

- А. Ернст Геккель (1834-1919) *
- Б. Артур Тенслі (1871-1955)
- В. Карл Лінней (1707-1778)
- Г. Чарльз Дарвін (1809-1882)

1.2. Укажіть, яка з перерахованих речовин з найбільшою ймовірністю буде лімітувати зростання пшениці на полі.

- А. Молекулярний азот
- Б. Молекулярний кисень
- В. Солі калію*
- Г. Вуглекислий газ

1.3. Для росту пшениці потрібна температура від 0 (нижня межа, мінімум) до 42 °С (верхня межа, максимум), для квасолі — від 9 до 46 °С, для бактерії сінної палички — від 5 до 57 °С, для туберкульозної бактерії — від 29 до 41 °С, для життя мурахи рудого — від 1,5 до 50 °С. Який з цих організмів має вузький діапазон толерантності до температури (стенотермний)?

- А. Пшениця
- Б. Квасоля
- В. Сінна паличка
- Г. Туберкульозна паличка *
- Д. Мураха рудий

1.4. Вкажіть, який з «чинників» обмежуватиме максимальну кількість води в бочці.



- А. 1
- Б. 2 *
- В. 3
- Г. 4

1.5. З наведених факторів виберіть той, що **НЕ** здатен регулювати чисельність популяції, тобто збільшувати силу впливу при зростанні її щільності.

- А. Конкуренти свого виду
- Б. Сонячна радіація *
- В. Забезпеченість їжею
- Г. Конкуренти інших видів

1.6. Назвіть одну з основних причин, по якій більшість харчових ланцюгів містить невелику (не більше 3-5) число ланок.

- А. Обмежена кількість видів організмів, що входять до складу біогеоценозів
- Б. Великі втрати корисної енергії в ланцюгах живлення *
- В. Невелика тривалість життя представників окремих ланок харчових ланцюгів
- Г. Формування харчової мережі з декількох харчових ланцюгів

1.7. Оберіть, у чому полягає правило екологічної піраміди.

- А. Представники кожної наступної ланки харчового ланцюга мають більші розміри, ніж представники попередньої ланки
- Б. Кількість особин, що входять до складу кожної наступної ланки харчового ланцюга, завжди менше кількості особин попередньої ланки
- В. У кожному наступну ланку харчового ланцюга надходить менше енергії, ніж надійшло їй в попередню ланку *
- Г. Маса речовини, що є їжею для наступної ланки харчового ланцюга, завжди більше маси речовини цієї ланки

1.8. Вкажіть, яка з наведених нижче рослин є сапротрофом.

А. Росичка

Б. Під'ялиник *

В. Повитиця

Г. Петров хрест



1.9. Вкажіть, прикладом яких взаємовідносин є відносин дорослої ялини і паростка дуба.

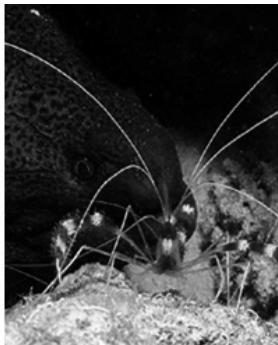
А. Комменсалізм

Б. Аменсалізм *

В. Нейтралізм

Г. Паразитизм

1.10. Вкажіть, на якому з прикладів біотичних відносин зображений саме мутуалізм?



А.

Б.

В.*

Г.

1.11. Вкажіть, яка з наведених нижче рослин **НЕ** є паразитом.

А. Рафлезія

Б. Петров хрест

В. Росичка*

Г. Вовчок



1.12. Вкажіть роль блідої поганки в екосистемі:

А. продуцент

Б. консумент I роду

В. консумент II роду

Г. редуцент *

1.13. Вкажіть, як називають процес закономірної послідовної зміни одних біоценозів іншими.

А. Саморегуляція

Б. Гомеостаз

В. Адаптація

Г. Сукцесія *

1.14. Укажіть, які рослини першими заселяють територію згорілого лісу.

А. Однорічні рослини *

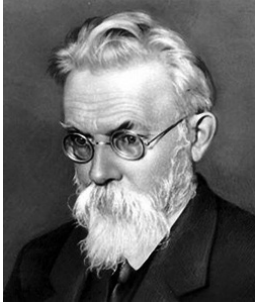
Б. Багаторічні трави

В. Чагарники

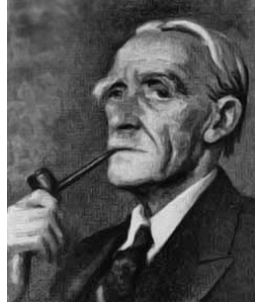
Г. Древа

1.15. Хто з перелічених вчених запропонував термін «біосфера»?

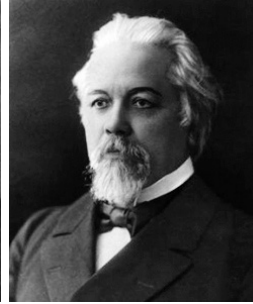
А. В. І. Вернадський



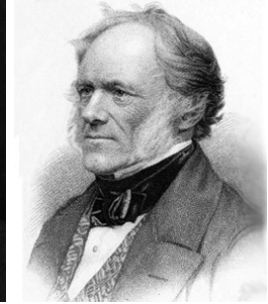
Б. А. Тенслі



В. Е. Зюсс *



Г. Ч. Лайель



1.16. Вкажіть, яку частку складає в біомасі біосфери маса зелених рослин суші.

- А. 13%
- Б. 38%
- В. 52%
- Г. 97% *

1.17. Вкажіть, в яких частинах біосфери спостерігається найбільша концентрація біомаси?

- А. У середніх шарах літосфери
- Б. У нижніх шарах атмосфери
- В. У верхніх шарах Світового океану *
- Г. У верхніх шарах атмосфери

1.18. Вкажіть, яка з наведених ознак **НЕ** відповідає особливостям кругообігу Карбону в біосфері?

- А. Основний доступний живим організмам фонд — вуглекислий газ в атмосфері
- Б. Живі організми можуть фіксувати вуглекислий газ у вигляді неорганічних сполук (наприклад, в вапняних раковинах коралів і моллюсків)
- В. У ході кругообігу Карбону не відбувається зміни ступеня окислення вуглецю в сполуках *
- Г. Кругообіг Карбону незамкнений: частина вуглецю виходить з кругообігу у вигляді різних копалин (вугілля, нафта, вапняк та інше)

2. Завдання на встановлення відповідності

2.1. У термінах, що описують толерантність організмів до екологічних факторів, встановіть відповідність між країнами та їх значенням.

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| А. «-гідрічний» | 1. відносно води |
| Б. «-гігічний» | 2. відносно вологості |
| В. «-термний» | 3. відносно температури |
| Г. «-фагний» | 4. відносно вибору їжі |

*

2.2. Встановіть відповідність між пристосуванням та середовищем існування, до якого це пристосування розвинулося.

- | | |
|----------------------|---|
| А. ґрунтове | 1. недорозвинення очей |
| Б. наземно-повітряне | 2. легкий жир |
| В. водне | 3. наявність захисних зародкових оболонок |
| Г. живий організм | 4. зникнення нервової системи |

*А — 1, Б — 3, В — 2, Г — 4

2.3. Установіть відповідність між типами зв'язків у спільнотах і їх позначеннями по ефекту на обидва взаємодіючих виду.

А. Хижацтво	1. + -
Б. Мутуалізм	2. + +
В. Нейтралізм	3. 0 0
Г. Комменсализм	4. + 0
Д. Конкуренція	5. - -

*

2.4. За пропозицією В. Н. Беклемішева, екологи виділяють поряд з трофічними (харчовими) зв'язками, ще три типи біотичних зв'язків:

- Топічні (від грец. «топос» — місце),
- Форичні (від грец. «хорео» або «форі» — просуваюсь, пересуваюсь),
- Фабричні (від лат. «фабрика» — майстерня).

Установіть відповідність між описами зв'язків і їх назвами.

А. Використання одним організмом іншого організму для будівельної діяльності	1. Фабричні
Б. Використання одним організмом іншого організму для поширення	2. Форичні
В. Зміна умов місцепроживання одного організму в результаті життєдіяльності іншого	3. Топічні
Г. Ланцюги (мережи) харчування, в яких показано, якими організмами харчуються представники даного виду і для яких видів вони самі, в свою чергу, є харчовим ресурсом	4. Трофічні

*

2.5. Зіставте типи екологічних пірамід з їх властивостями.

А. Піраміда чисельності	1. Проста у побудові, однак перебільшує роль дрібних організмів
Б. Піраміда біомаси	2. Досить точна, проте перебільшує роль великих організмів
В. Піраміда енергії	3. Правильно відображає процеси в екосистемі, але побудова трудомістким

*

2.6. Вкажіть трофічні ланцюги, відповідні описам характеру екологічних пірамід.

А. Піраміди чисел — прямі, біомаси — прямі, піраміди енергії — прямі	1. Злаки — антилопи — гієни
Б. Піраміди чисел — перевернуті, біомаси — прямі, піраміди енергії — прямі	2. Яблуні — яблуневі листовійки
В. Піраміди чисел — прямі, біомаси — перевернуті, піраміди енергії — прямі	3. Салат — галапагосские черепахи
Г. Піраміди чисел прямі, біомаси — прямі, піраміди енергії — перевернуті	4. Неможливий варіант

*

2.7. Вкажіть, яким видам відповідають дані про біомасі ссавців в північноамериканському листопадні лісу.

А. 0,007-0,015 кг / га

Б. 0,015-1 кг / га

В. 1-8 кг / га

1. Білка

2. Ведмідь

3. Пума



*

Завдання на класифікацію

3.1. Розділіть наведені способи захисту від хижаків на дієві при безпосередньому контакті і спрямовані на уникнення контакту з хижакком.

А. Способи захисту, дієві при безпосередньому контакті

1. Активний захист (жертва бореться з хижакком)

2. Наявність панцира, черепашки, шипів, голок

3. Викидання захисних речовин

Б. Способи захисту, спрямовані на уникнення контакту з хижакком

4. Спорудження укриттів або використання природних укриттів

5. Затаювання

6. Наявність маскуючого забарвлення

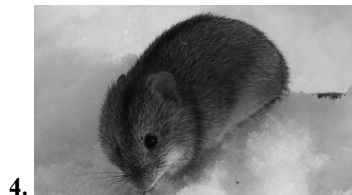
*

3.2. Укажіть місце організмів у харчовому ланцюзі.

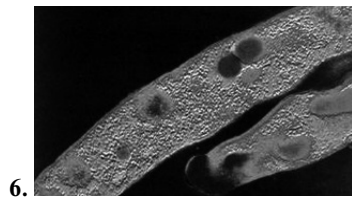
А. Продуценти



Б. Консументи



В. Редуценти



*

3.3. Які з наведених нижче утворень відносяться до косної речовини, а які — до біогенної?

А. Косна речовина біосфери

1. Туф, базальт

2. Алмаз

3. Кварцовий пісок

Б. Біогенна речовина біосфери

4. Торф

5. Кам'яне вугілля

6. Крейда, мармур, вапняк

*

3.4. Установіть відповідність між царствами живих організмів і їх роллю в біогенному кругообігу атомів.

А. Рослини 1. Забезпечують первинну продукцію біосфери

2. Підтримують кисневу атмосферу планети

Б. Тварини 3. Забезпечують перетворення первинної органічної речовини

4. Забезпечують мінералізацію органічної речовини мертвих організмів

*

4. Завдання на встановлення послідовності

4.1. Розташуйте учасників трофічного ланцюга.



А.



Б.



В.



Г.

* ГБВА

4.2. Установіть послідовність видів в пасовищній ланцюга живлення на прикладі морської екосистеми.

- А. Діатомові водорості
- Б. Весільного рачки
- В. Оселедець
- Г. Акула

*

4.3. Установіть послідовність ланок ланцюга розкладання.

- А. Залишки тварин
- Б. Жуки-сапрофагі
- В. Комахоїдні тварини
- Г. М'ясоїдні хижаки

*

4.2. Відновіть послідовність освоєння живими організмами скельних порід.

- А. Освоєння субстрату накипними лишайниками
- Б. Формування первинної ґрунту — мелкозему
- В. Освоєння субстрату мохами
- Г. Освоєння субстрату вищими рослинами

*

4.3. Розташуйте природні зони в порядку зменшення кількості виробленої первинної продукції на квадратний метр на рік.

- А. Тропічні дощові ліси
- Б. Тайга
- В. Степи
- Г. Відкритий океан

*

4.4. Розташуйте фонди кругообігу води (гідрологічного циклу) в порядку зменшення відносної швидкості їх обміну.

- А. Вода в складі живих організмів
- Б. Вода у вигляді пари в атмосфері
- В. Вода поверхневих прісних водойм
- Г. Вода в складі льодовиків
- Д. Вода, пов'язана в складі гірських порід

*

4.5. Установіть послідовність етапів біогенного круговороту вуглецю, починаючи з основного доступного живим організмам резервуара — вуглекислого газу в атмосфері.

- А. Поглинання зеленими рослинами вуглекислого газу
- Б. Синтез складних органічних речовин рослинами
- В. Поглинання органічних речовин рослин тваринами
- Г. Природна загибель живих організмів
- Д. Міграція вуглецю в ґрунт
- Е. Розкладання органічних речовин редуцентами, повернення вуглекислого газу в атмосферу

*

4.6. Установіть послідовність етапів біогенного кругообігу азоту, починаючи з основного резервуара — молекулярного азоту в атмосфері.

- А. Фіксація азоту у вигляді солей амонію бактеріями *Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhizobium*
- Б. Поглинання амонійних солей зеленими рослинами
- В. Синтез складних органічних речовин рослинами
- Г. Поглинання органічних речовин рослин тваринами
- Д. Природна загибель живих організмів і повернення сполук азоту в ґрунт
- Е. Перетворення нітратів ґрунту в молекулярний азот денітрифікуючими бактеріями

*

5. Відкриті завдання:

- 5.1. Поясніть різке зростання популяції елодеї канадської («водяної чуми»), що була завезена у водойми Європи з Нового Світу через взаємодію з факторами середовища.
- 5.2. Чи є світло лімітуючим фактором для тварин?
- 5.3. Запропонуйте методи підрахунку чисельності буйволів, голубів, дубів та коників-стрибунців.
- 5.4. Опишіть пристосування карася до життя у водному середовищі.
- 5.5. Назвіть відомих вам мешканців ґрунту. Опишіть їх пристосування до життя в цьому середовищі.
- 5.6. Опишіть ярусність хвойного лісу.
- 5.7. Наведіть приклади природних екосистем.
- 5.8. Намалюйте приклади пасовищних та детритних харчових ланцюгів.
- 5.9. Чомубільшість екологічних пірамід невисокими, атрофічних ланцюгів — короткими?
- 5.10. Який тип сукцесії виникне у водоймі, в якій все живе було вбите токсичними стічними водами?
- 5.11. Назвіть тип взаємодії між шакалом Табакі та тигром Шер-Ханом (за казкою Редьярда Кіплінга «Мауглі»).
- 5.12. Як залежить продуктивність водних угруповань від глибини?
- 5.13. Чи є акваріумні рибки компонентом біосфери?
- 5.14. Які копалини, що містять Карбон, ви знаєте?
- 5.15. Чому для відновлення родючості ґрунту на ділянці радять висівати люпин, горох, квасолю?
- 5.16. До складу яких біомолекул входить Фосфор?
- 5.17. Які джерела енергії використовуються для підтримання колообігу води? Карбону? Нітрогену? Фосфору?
- 5.18. Чи виконують тварини енергетичну функцію в біосфері?
- 5.19. Порівняйте біоми степу та савани. Які відмінності визначає клімат?
- 5.20. Опишіть своє уявлення ноосфери. Проведіть дискусію на тему відповідності сучасного світу уявленням про ноосферу.

Еволюція органічного світу

1. Завдання з обиранням однієї правильної відповіді

1.1. Вкажіть, що називають боротьбою за існування.

- А. Конкуренція між організмами за середовище проживання *
- Б. Знищення особин одного виду особинами іншого виду
- В. Розселення виду на нову територію
- Г. Симбіотичні взаємини одних особин з іншими

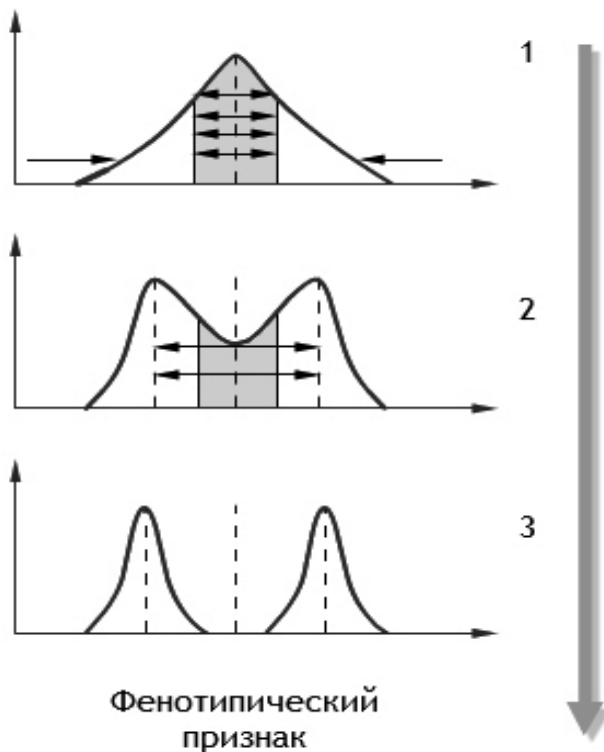
1.2. Вкажіть, яким терміном Ч. Дарвін називав виживання і розмноження найбільш пристосованих особин виду і вимирання інших.

- А. Спадковість
- Б. Мінливість
- В. Боротьба за існування
- Г. Природний добір *

1.3. Виберіть фактор, що є одним з джерел боротьби за існування в теорії Ч. Дарвіна.

- А. Прагнення організмів розмножуватися в геометричній прогресії і обмежена ємність середовища *
- Б. Прагнення організмів до вдосконалення
- В. Вправа органів при подоланні несприятливих умов
- Г. Пристосування організмів до дії факторів середовища в результаті модифікаційної мінливості

1.4. Визначте, який тип природного добору показаний на схемі?



- А. Стабілізуючий
- Б. Рушійний
- В. Дизруптивний *
- Г. Статевий

1.5. Виберіть серед наведених положень один з результатів дії природного добору.

- А. Міграція особин
- Б. Походження нових видів *
- В. Преадаптація — пристосування до умов середовища, які ще не настали
- Г. Виникнення мутацій

1.6. Укажіть, яке призначення має чорна смуга на голові багатьох жаб і квакш.



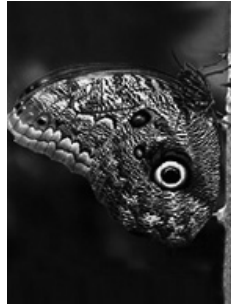
- А. Робить тварина більше схожим на листок дерева
- Б. Дозволяє замаскувати очі *
- В. Призначена для залякування хижаків (як напівмаска розбійників)
- Г. Призначена для залучення осіб протилежної статі

1.7. Вкажіть організм, для якого характерне застережливе забарвлення.

А. *



Б.



В.



Г.



1.8. Оберіть, яким терміном позначають територію, зайняту видом?

- А. Площа
- Б. Ареал *
- В. Місцезнаходження
- Г. Ділянка

1.9. Як називається сукупність зовнішніх ознак, характерних для особин даного виду, які відрізняють їх від особин інших видів?

- А. Біохімічний критерій виду
- Б. Екологічний критерій виду
- В. Морфологічний критерій виду *
- Г. Фізіологічний критерій виду

1.10. Вкажіть, в якому випадку ми стикаємося з екологічним видоутворенням.

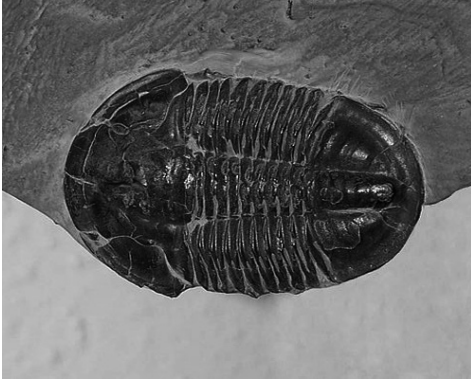
- А. Утворення видів синиць при наступі льодовика на Євразію
- Б. Утворення нового виду маку при розширенні ареалу на північ
- В. Утворення нового виду річкового окуня при розширенні його ареалу в глибокі шари води тієї ж річки *
- Г. Утворення нового виду жовтця при розширенні його ареалу з лісової зони в степову

- 1.11. Оберіть правильне визначення рудиментів.
- А. Органи, які з'являються в окремих особин як результат мутації
 - Б. Органи, які тільки починають з'являтися в організмів в ході еволюції
 - В. Органи, втратили в процесі еволюції своє значення і зберігаються недорозвиненими *
 - Г. Органи, які змінили в ході еволюції свою функцію
- 1.12. Серед перерахованих нижче пар ознак вкажіть ту, яка відноситься до гомологічних органів.
- А. Колючки кактуса і колючки барбарису
 - Б. Бульба картоплі і коренеплід моркви
 - В. Крила метелика і крила кажана
 - Г. Ласти китоподібних і кінцівки крота *
- 1.13. Укажіть, яку з теорій спростував дослід Пастера.
- А. Креаціонізм
 - Б. Теорію біохімічної еволюції
 - В. Панспермії
 - Г. Теорію зародження *
- 1.14. Яку з теорій підтверджують результати досвіду Стенлі Міллера і Гарольда Юрі?
- А. Креаціонізм
 - Б. Теорію самозародження
 - В. Теорію біохімічної еволюції *
 - Г. Теорію панспермії
- 1.15. Вкажіть, чому кріптозойській еон, в який входять архейська і протерозойська ери, називають «часом прихованого життя» (від грец. «кріптос» — таємниця)?
- А. Життя в кріптозої дуже несхоже на сучасне
 - Б. Живі організми того часу не мали скелетів, і їхні викопні залишки відносно мало збереглися *
 - В. Ця назва має лише історичне значення — залишки кріптозойських організмів довгий час не вдавалося виявити
 - Г. У той час жило дуже мало організмів — їх практично неможливо виявити
- 1.16. Вкажіть, який з ароморфозів НЕ характерний для органічного світу докембрію (кріптозойського еону).
- А. фотосинтез
 - Б. кисневе (аеробне) дихання
 - В. багатоклітинність
 - Г. поява тканин у рослин*
- 1.17. Вкажіть, хто першим вийшов на сушу?



-
- А. Хребетні — земноводні
 - Б. Рослини — псилофіти і риніофіти *
 - В. Ракоподібні — ракоскорпіони
 - Г. Багатоніжки і комахи

1.18. Як називався клас членистоногих, що панував в морях раннього палеозою і повністю вимерлий до теперішнього часу?

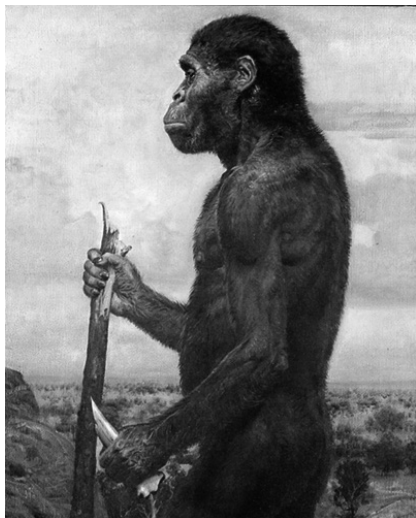


- А. Трилобіти *
 - Б. Амоніти
 - В. Панцирні риби
 - Г. Риніофіти
- 1.19. Коли з'явилися перші хребетні?
- А. У кембрії
 - Б. В ордовіку *
 - В. В силурі
 - Г. У девоні
- 1.20. Визначте, який період зображений на малюнку.



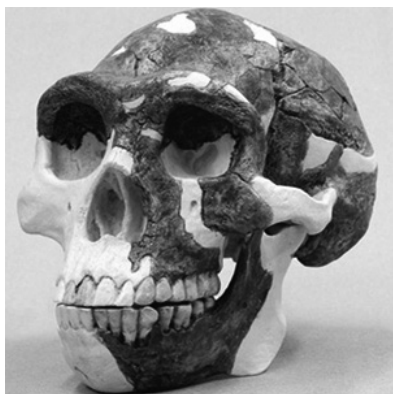
- А. Крейдяний
- Б. Палеоген
- В. Неоген
- Г. Антропоген *

1.21. Вкажіть, де жили австралопітеки.



- А. В Передній Азії
- Б. В Центральній Австралії
- В. В Південно-Західній Африці *
- Г. В Південній Америці

1.22. Назвіть викопну людину, представники якої характеризуються такими особливостями: вони ходили на двох ногах, мали зріст близько 170 см, товсті кістки черепної коробки, головний мозок об'ємом 900-1000 см³, дуже похилий лоб, не мали підборіддя виступу, користувалися вогнем, виготовляли з каменів примітивні скребки і свердла, не будували жител.



- А. Неандерталець
 - Б. Пітекантроп *
 - В. Австралопітек афарський
 - Г. Кроманьонец
- 1.23. Вкажіть ознаку, характерну для монголоїдної раси.
- А. Товсті губи
 - Б. Темна шкіра
 - В. Широкий, злегка виступаючий ніс
 - Г. Епікантус (складка у внутрішнього кута ока) *

- 1.24. Вкажіть ознаку, характерну для негроїдної раси.
 А. Широкий, злегка виступаючий ніс *
 Б. Розріз очей, звужується до зовнішнього кута
 В. Прямі жорсткі волосся
 Г. Епікантус (складка у внутрішнього кута ока)
- 1.25. Виберіть з перерахованих методів боротьби з шкідниками та хворобами сільсько-господарських рослин біологічний.
 А. Залучення комах-фітофагів
 Б. Застосування пестицидів
 В. Застосування гербіцидів
 Г. Залучення природних ворогів шкідників *
- 1.26. Вкажіть, який з природних ресурсів відноситься до невичерпних?
 А. Вугілля
 Б. Нафта
 В. Газ
 Г. Енергія вітру *
- 1.27. Вкажіть, яка з наведених причин вимирання тварин **НЕ** є результатом господарської діяльності людини.
 А. Різка зміна умов проживання окремих видів
 Б. Масове винищення окремих видів
 В. Зміни геотектоніки і вулканічної активності *
 Г. Знищення середовища проживання окремих видів
- 1.28. Вкажіть основну причину кислотних дощів.
 А. Викиди в атмосферу вуглекислого газу та метану
 Б. Спалювання Нітроген- та Сульфур-вмісного палива *
 В. Забруднення водойм і ерозія ґрунтів
 Г. Викид в атмосферу фреонів
- 1.29. Виберіть зі списку один з наслідків впливу оксидів Нітрогену (NO, NO₂) на природу, людину і середовище її проживання.
 А. Корозія металоконструкцій *
 Б. Накопичення важких металів в ланцюгах харчування
 В. Цвітіння водойм
 Г. Озонові діри
- 1.30. Назвіть тип природоохоронної території, яким є Асканія-Нова.
 А. Природний парк
 Б. Резерват
 В. Біосферний заповідник *
 Г. Заказник

2. Завдання на встановлення відповідності

2.1. Зіставте опису форм добору з назвами.

- | | |
|--|------------------|
| А. Сприяє крайнім значенням ознаки, тиск добору направлений на середні значення | 1. Дісруптивний |
| Б. Сприяє ознакам, що підвищують ймовірність успіху у протилежної статі | 2. Статевий |
| В. Сприяє одному з крайніх значень ознаки, тиск добору направлений на інше значення ознаки | 3. Рушійний |
| | 4. Стабілізуючий |

*

2.2. Установіть відповідність між критеріями виду і прикладами видових характеристик.

А. Забарвлення сільської ластівки — синьо-чорна спина з мета-левим відблиском, низ блідо-бежевий, на лобі і передній частині шиї світло-коричневі плями

Б. Колір оперення рожевого фламінго обумовлений надходженням каротину з їжі (ракоподібних)

В. Вівчарик весняний відрізняється від тіньковкі за видовою піснею: набір частих посвистів, що зливаються в трель «твітвітві-тютютю-віувіві-фью-фью»

Г. Зелений дятел мешкає на території Європи і Передньої Азії від Шотландії і південної Скандинавії на півночі до країн Закавказзя, Північного Ірану і Туркменії на півдні

1. Морфологічний

2. Фізіолого-біохімічний

3. Екологічний

4. Географічний

*

2.3. Зіставте опис різних етапів розвитку хребетних тварин палеозою з назвами періодів.

А. Ордовік

Б. Силур

В. Девон

Г. Карбон

1. Перші безщелепні хребетні

2. Висока різноманітність родин хребетних, виникнення риб

3. Найбільшими хижаками в морях стають панцирні риби, потім вони вимирають; у прісних водах розквіт кистеперих риб і поява перших, ще водних, чотириногих

4. У морях панують хрящові і кісткові риби; чотириногі вийшли на сушу серед них найбільше амфібій, з'явилися також справжні рептилії і звіроподібні

5. Клімат холодний і сухий; біля льодовиків виникає тундростеп, населений мамонтової фауною

*

2.4. Установіть відповідність між групою організмів і періодом їх появи.

А. Пермський

Б. Тріасовий

В. Юрський

Г. Крейдяний

1. Хвойні

2. Ссавці

3. Птахи

4. Квіткові

5. Амфібії

*

Завдання на класифікацію

3.1. Розділіть адаптивні забарвлення тварин залежно від того, захищеному їх носії від високоорганізованих хижаків, ними харчуються, чи ні.

А. Характерні для незахищених організмів

1. Загрозливе забарвлення

2. Мімікрія (наслідування одних тварин іншим)

3. Мімезія (наслідування неживим предметам)

Б. Характерні для захищених організмів

4. Застережливе фарбування

*

3.2. Виберіть пристосування, характерні для різних паразитів.

А. Аскарида



1. Товстий шкірний покрив, кутикула
2. Активний рух проти струму їжі
3. Гачечки, присоски
4. Редукція травної та нервової систем
5. Складний життєвий цикл зі зміною господарів

Б. Свинячий цїп'як



*

3.3. Серед перерахованих нижче прикладів вкажіть варіанти географічного (аллопатричного) та екологічного (симпатричного) видоутворення.

- | | |
|-----------------------|---|
| А. Географічне | 1. Поділ єдиного ареалу виду на кілька частин в результаті зміни русла річки |
| | 2. Поділ єдиного ареалу виду на кілька частин в результаті опустелювання ділянки між популяціями |
| Б. Екологічне | 3. Поділ виду в результаті зміни особливостей розмноження |
| | 4. Поділ виду в результаті зміни харчової активності і зміни харчових об'єктів |

*

3.4. Розділіть наведені докази еволюції на дві групи.

- | | |
|----------------------------------|---|
| А. Порівняльно-анатомічні | 1. Рудименти (наприклад, апендикс) |
| | 2. Атавізми (наприклад, розвиток хвоста у людини) |
| | 3. Гомологічні органи (кінцівки крота, дельфіна, кажана) |
| Б. Палеонтологічні | 4. Перехідні форми (наприклад, археоптерикс) |
| | 5. Філогенетичні ряди (наприклад, ряд коней) |

*

3.5. Розділіть наведені приклади пристосувань організмів по основних шляхах еволюції.

- | | |
|-------------------------|--|
| А. Ароморфоз | 1. Пір'яний покрив у птахів |
| | 2. Повітряні мішки і подвійна вентиляція легенів у птахів |
| Б. Идиоадаптація | 3. Відсутність пір'яного покриву на голові у гифов |
| | 4. Забарвлення яєць куликів, гніздяться на землі, під колір піску |
| В. Дегенерація | 5. Зменшення кількості пальців на передніх кінцівках у птахів |

*

3.6. Виберіть, які види належать до видів-реліктів, а які — ні.

А. Є реліктами 1. Гатерія



2. Латимерія

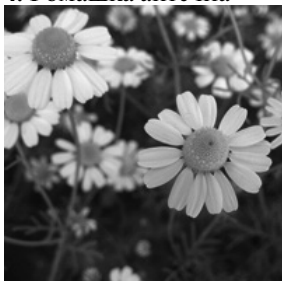


3. Гінкго дволопатеве



Б. Не є реліктами

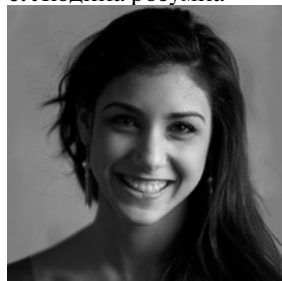
4. Ромашка аптечна



5. Верблюд-бактріан



6. Людина розумна



*

3.7. Виберіть серед наведених ознак ті, походження яких пов'язане з прямоходінням, і ті, які виникли внаслідок інших причин.

А. Пов'язані з прямоходінням

1. Великий палець на нозі паралельний іншим
2. Череп розташовується над хребтом
3. Хребет має S-подібний вигин
4. Стопа аркоподібна

Б. Не пов'язані з прямоходінням

5. Великий палець на руках протиставлений іншим
6. Порідіння волосяного покриву на тілі та кінцівках

*

3.8. Розподіліть викопних гомінідів по стадіях антропогенезу.

А. Предгомінідна

1. Австралопітек з Афара
2. Австралопітек африканський
3. Парантроп Бойса

Б. Найдавніші люди (архантропи)

4. Синантроп
5. Питекантроп
6. Гейдельберзька людина

*

3.9. Виберіть галузі господарства — основні споживачі прісної води, та галузі, що споживають небагато води.

А. Галузі-споживачі прісної води

1. Целюлозно-паперова промисловість



2. Металургія



3. Зрошуване землеробство



Б. Галузі з незначним споживанням прісної води

4. Пасовищне тваринництво



5. Взултєва промисловість



6. Транспорт



*

3.10. Вкажіть, які гази «відповідальні» за парниковий ефект, а які — ні.

А. Парникові гази

1. NO_2
2. CH_4
3. CO_2
4. H_2O

Б. Гази, що не належать до парникових

5. N_2
6. O_2

*

3.11. Розділіть наведені твердження на правильні та помилкові.

А. Правильно

1. У приземному шарі повітря озон є небезпечним забруднювачем
2. Озон інтенсивно поглинає дальній (короткохвильовий) ультрафіолет
3. Високою (нормальною для озонового шару) слід вважати концентрацію озону близько 0,001%

Б. Не правильно

4. Кіотський протокол регулює викиди хлорфторуглеводородів
5. Руйнування озону атомарним хлором і фтором швидше відбувається при підвищеній температурі
6. Оскільки над Україною немає озонових дір, наша країна не вносить внесок у руйнування озонового шару Землі

4. Завдання на встановлення послідовності

4.1. Вкажіть послідовність подій, що відбуваються при утворенні нових видів.

- А. Географічна чи екологічна ізоляція груп особин вихідного виду
- Б. Накопичення в кожній з груп генетичних змін
- В. Збереження в кожній з груп найбільш пристосованих до даних умов існування особин
- Г. Через ряд поколінь особини різних груп не здатні схрещуватися між собою — виникнення нових видів

*

4.2. Розташуйте в правильному порядку (починаючи з найдавнішої) ери геохронологічної шкали.

- А. Архей
- Б. Протерозой
- В. Палеозой
- Г. Мезозой
- Д. Кайнозой

*

4.3. Розташуйте у правильній послідовності (від більш давнього до більш сучасного) періоди кайнозойської ери.

- А. Палеоген
- Б. Неоген
- В. Антропоген

*

4.4. Установіть послідовність еволюційних стадій, що призвели до утворення виду Людина розумна (*Homo sapiens*).

- А. Австралопітек з Афара
- Б. Людина уміла
- В. Людина прямоходяча
- Г. Людина неандертальський

*

4.5. У процесі розвитку життя на Землі спостерігалось ускладнення організації живих організмів. Вкажіть послідовність виникнення різних груп рослин.

- А. Виникнення перших морських водоростей
- Б. Виникнення перших наземних рослин
- В. Поява хвощів і плаунів
- Г. Поява деревовидних папоротей
- Д. Поява перших хвойних
- Е. Поява перших покритонасінних

*

4.6. Розташуйте групи тварин за часом їх появи в ході розвитку життя на Землі — від найдавніших до більш сучасним.

- А. Поява перших хордових
- Б. Поява перших панцирних риб
- В. Поява перших комах
- Г. Поява перших ссавців
- Д. Поява перших птахів
- Е. Поява перших приматів

*

4.7. Розташуйте наведені нижче систематичні групи в порядку зменшення кількості видів у кожній з них.

- А. Комахи
- Б. Покритонасінні
- В. Молюски
- Г. Риби
- Д. Ссавці

*

4.8. Відновіть послідовність подій, що відбуваються в результаті забруднення водойм стоками з сільськогосподарських угідь.

- А. Евтрофікація водойми
- Б. Цвітіння води
- В. Відмирання фітопланктону, гниття органіки
- Г. Виникнення дефіциту кисню
- Д. Загибель риб

*

4.9. Встановіть загальну послідовність постановки і розв'язання завдань з охорони природи.

- А. Постановка проблеми і висунення можливих шляхів її вирішення
- Б. Постановка експерименту з перевірки запропонованих рішень
- В. Коригування, доопрацювання рішення, побудова динамічної математичної моделі
- Г. Планомірне застосування рішення на практиці з постійним моніторингом результатів

*

4.10. Розташуйте охоронювані території у порядку зростання ступеня строгості заходів охорони.

- А. Мисливські господарства
- Б. Заказники
- В. Заповідники
- Г. Біосферні заповідники

*

5. Відкриті завдання:

5.1. Представники певного виду гризунів можуть мати білу або чорну шерсть. При географічному розділенні популяції цих гризунів частина їх опиняється у гірській місцевості з темними скелями, а друга частина — зі світлими. Яка форма добору буде супроводжувати подальший розвиток гризунів?

5.2. Чому розвиток генетики спричинив внесення змін у еволюційну теорію?

5.3. Наведіть приклади ознак, що підтримуються статевим добром у різних тварин. Чи можете ви визначити такі ознаки у людини? Які саме?

5.4. Доведіть, що пекінес, той-тер'єр, сенбернар та німецька вівчарка є представниками одного і того ж виду.

5.5. Пшениця та жито мають подібний зовнішній вигляд, реакції обміну речовин тощо. Доведіть, що це два різні види.

5.6. Деякі види комах для полювання маскуються під квіти орхідей. Однак існують види орхідей, які, навпаки, маскують свої квіти під комах. З якою метою сформувалася ця адаптація?

5.7. Наведіть приклади шлюбної поведінки різних тварин і поясніть їх доцільність.

5.8. Яке явище лежить в основі подібності риючих кінцівок крота та вовчка?

5.9. Прикладом якого явища є поява квітки у покритонасінних рослин?

5.10. Наведіть відомі вам приклади загальної дегенерації організмів.

-
- 5.11. Які природні умови поверхні Землі могли спричинити реакції, що привели до утворення коацерватів?
- 5.12. Спробуйте назвати сучасні місця на Землі та поза її межами, умови в яких близькі до умов на Землі в ранні періоди її розвитку. Чи існує там життя?
- 5.13. Опишіть механізм захисту Землі від шкідливого випромінювання з космосу.
- 5.14. Який основний ароморфоз з'явився у багатоклітинних організмів кембрійського періоду на ембріональному рівні?
- 5.15. Поясніть переваги насінних рослин над вищими споровими. У якому випадку занепад вищих спорових міг би бути не настільки значним?
- 5.16. Спробуйте визначити основні ароморфози та ідіоадаптації, що з'явилися у тварин у мезозойську та кайнозойську ери.
- 5.17. Яким чином могла б піти подальша еволюція динозаврів, якщо б не вимирання? Чи настав би у цьому випадку розквіт ссавців? Відповідь обґрунтуйте.
- 5.18. Який зовнішній вигляд мали б тварини кайнозою, якщо замість великих степів сформувалися б такі ж за величиною природні зони вологих тропічних лісів? Чагарників? Пустель?
- 5.19. До яких змін будови тіла привело прямоходіння? Чому на певних етапах еволюції приматів зник хвіст? Кігті перетворилися на нігті? Виникло протиставлення великого пальця іншим?
- 5.20. Які соціальні фактори відігравали основну роль в антропогенезі?
- 5.21. Наведіть приклади техногенних та агрогенних антропічних факторів.
- 5.22. Наведіть приклади енергетичного субсидування людиною штучних (а також природних) екосистем.
- 5.23. Які екологічні проблеми може допомогти вирішити використання вторинної сировини?
- 5.24. Наведіть приклади видів, що охороняються на території України.
- 5.25. Чи є, на вашу думку, міжнародні домовленості ефективним засобом забезпечення контролю над промисловими викидами?

ВИРОБНИЧО-ПРАКТИЧНЕ ВИДАННЯ

КОЗЛЕНКО Олександр Григорович

БІОЛОГІЯ

9 КЛАС

Посібник для вчителя

Редактор *Бартош С.В.*
Верстка *Мирончик Ю.П.*
Обкладинка *Мирончик Ю.П.*

Підписано до друку 15.08.2017. Формат 70х100 ¹/₁₆
Гарнітура Петербург. Друк. офсетний. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 11,7 Наклад 300 пр.

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО.

Віддруковано у
ТОВ «Видавничий дім «САМ».
01004, м. Київ, вул. Червоноармійська, 8,
тел. (044) 235-72-20.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовників
та розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ДК № 3750, від 01.04.2010 р.