

Тема: **Вступ до дисципліни**

1. Об'єкти і предмет дослідження біофізики гідробіонтів
2. Основні розділи біофізики
3. Становлення і розвиток наукових основ біофізики
4. Основні методи досліджень у біофізиці гідробіонтів

Біологічна фізика (**біофізика**) – це наука, яка вивчає **фізичні процеси, що відбуваються у біологічних системах.**

Вона досліджує **механізми діяльності і працездатності біологічної системи на будь-якому рівні її організації** (від окремих молекул речовин, окремих клітин – до складного багатоклітинного організму), **а також механізми впливу зовнішніх фізичних факторів навколишнього середовища на живі організми.**

Теоретична структура і моделі біофізики базуються на фізичних поняттях: термодинаміки, енергії, сили, роботи, біомеханіки, кінетики, типів взаємодії, реології, біоакустики, фотобіології і т.д.

Об'єктами вивчення біофізики є біологічні системи будь-якого рівня організації, а **предметом** – фізичне обґрунтування процесів, які у них відбуваються.

Незважаючи на складність і взаємозв'язок різних процесів у живих організмах, серед них можна виділити ланки, дуже близькі до фізичних процесів. Наприклад, такий складний фізіологічний процес, як кровообіг, за своєю природою є фізичним, бо пов'язаний з рухом рідин (гідродинаміка), розповсюдженням коливань по судинах (коливання і хвилі), механічною роботою серця (механіка), генерацією біопотенціалів (електрика) тощо. Дихання пов'язане з рухом газів (аеродинаміка), тепловіддачею (термодинаміка), випаровуванням (фазові перебудови) тощо. Будь-який прояв життєдіяльності, будь-яка функція клітин потребує енергії. Енергія потрібна для біосинтетичних реакцій і різних форм клітинної активності, а будь-яка діяльність клітин завжди співпадає у часі з розпадом аденозинтрифосфornoї кислоти (АТФ), тому окремо у біофізиці розглядаються питання перетворення енергії у біологічних системах (біоенергетика).

Сьогодні **основними завданнями** біофізики є наступні:

- 1) пошук загальних принципів біологічно значущих фізичних впливів на різних рівнях організації біологічної матерії;

- 2) розкриття природи процесів у біологічних системах відповідно до знань сучасної фізики, хімії, математики;
- 3) розробка узагальнених фізичних понять, які адекватно описують біологічні явища.

Більш **вузькими прикладними завданнями** біофізики виступають:

- 1) фізичне пояснення широкого комплексу функціональних явищ у житті біологічних систем (генерація і передача нервових імпульсів, скорочення м'язів, кровообіг, дихання, рецепція, фотосинтез і т.д.);
- 2) встановлення зв'язків між будовою і функціональними властивостями біополімерів – білків, нуклеїнових кислот і т.д., біологічно активних речовин – ферментів, гормонів, вітамінів);
- 3) виявлення загальних закономірностей поведінки відкритих термодинамічних нерівноважних систем, теоретичне обґрунтування термодинамічних основ життєвих процесів;
- 4) створення і теоретичне обґрунтування фізико-хімічних методів дослідження біологічних об'єктів;
- 5) наукове роз'яснення явищ індивідуального і еволюційного розвитку біологічних систем різних рівнів складності організації, їхньої саморегуляції і самовідтворення.

Сучасна біофізика має різні спеціалізації відповідно до рівня організації об'єктів чи явищ та методів дослідження. Її поділяють та загальну та прикладну.

За рішенням Міжнародної асоціації загальної і прикладної біофізики основними розділами **загальної біофізики** вважають:

- 1) **молекулярну біофізику;**
- 2) **біофізику клітин і мембранних процесів;**
- 3) **біофізику сенсорних систем;**
- 4) **біофізику фотобіологічних процесів;**
- 5) **біофізику складних систем.**

Прикладна біофізика здійснює цільові дослідження питань прикладного характеру та використання знань, методів, контролю чи керування явищами задля практичних розробок та їхнього застосування.

До прикладної біофізики відноситься і біофізика гідробіонтів, оскільки вона досліджує фізичні процеси, які мають місце в організмах гідробіонтів різних рівнів біологічної організації, що пов'язані з особливостями їхнього пристосування до мешкання у водному середовищі. Систематичне різноманіття гідробіонтів дозволяє досліджувати складні фізичні явища та розробляти напрями їх практичного застосування для діагностування стану водних екосистем та напрямків розвитку гідробіоценозів.

Тема: Біофізика клітинних процесів

1. Виникнення і розвиток клітинної теорії. Клітина як складна високовпорядкована система, здатна до саморегуляції
2. Фізичні особливості прокариотичних клітин (бактерії, синьозелені водорості)
3. Фізичні особливості еукаріотичних клітин гідробіонтів
4. Міжклітинні контакти

Живі організми, у тому числі і гідробіонти, можуть бути одноклітинними, або можуть складатися із групи клітин, або являють собою складний багатоклітинний організм із мільярдів таких елементарних структур.

Клітинна будова живих організмів вперше була виявлена британським ученим Робертом Гуком, який у 1665 році сконструював найпростіший мікроскоп і описав будову кори і стебла рослин та ввів у науку термін «клітина».

У 1839 році Теодором Шванном було сформульовано клітинну теорію, яку він виклав у праці «Мікроскопічні дослідження щодо відповідності у структурі і рості тварин та рослин». При створенні клітинної теорії Т.Шванн керувався результатами досліджень та узагальненнями Матіаса Шлейдена, який описав клітинну будову рослин та довів гомологічність (однотипність) походження клітин. Таким чином виникла і почала розвиватися клітинна теорія Шлейдена-Шванна.

Основні сучасні положення клітинної теорії наступні:

- клітина є найменшою структурно-функціональною одиницею живого;
- поза клітиною життя не має (за виключенням вірусів);
- усі живі організми, і рослинні і тваринні, складаються із клітин;
- всі клітини подібні за хімічним складом і мають загальний план будови;
- клітинам властива мембранна будова, ядро є їх найважливішою частиною;
- клітини розмножуються шляхом власного поділу;
- клітини можуть мати специфічні особливості, пов'язані з виконанням специфічних функцій, які виникають у результаті клітинного диференціювання.

Біофізики розглядають живу клітину як відкриту термодинамічну систему, яка здатна обмінюватися із зовнішнім середовищем енергією, речовиною та інформацією; здатна рости і розмножуватися, передавати у спадок свої ознаки. Вона реагує на подразнення і здатна рухатися.

Одноклітинні організми живуть ізольовано, що не заважає їм створювати колонії.

Багатоклітинний організм – це не просто сукупність структурних елементів, а складна система взаємопов'язаних і взаємозалежних елементів, складна інтегральна система.

Існує два великих класи клітин: прокаріотичні і еукаріотичні.

Прокаріотичні клітини є найпростішими. Вони не мають обмеженого мембраною ядра, мітохондрій, хлоропластів, системи внутрішніх мембран і цитоскелета. Прокаріотичним клітинам не властивий мітотичний поділ. Прокаріоти були першими клітинами, які з'явилися у ході біологічної еволюції більше 3 млрд. років тому.

Еукаріотичні клітини мають обмежене мембраною ядро (нуклеус), де міститься генетична інформація, ядерце, де формуються рибосоми, мітохондрії, пластиди, систему внутрішніх мембран і цитоскелет. Для них характерний мітотичний поділ. У ядрі міститься хроматин. Він складається в основному з ДНК і низки специфічних білків. У проміжках між поділом клітин хроматин розподіляється по всьому ядру, а безпосередньо перед поділом збирається у дискретні гранулярні тільця – хромосоми. Еукаріотичні клітини кожного виду гідробіонтів містять певну кількість хромосом, що є систематичною ознакою. У процесі мітозу хромосоми зазнають реплікації і певної трансформації, розходяться і потрапляють у дочірні клітини. Однією з основних ознак усіх еукаріотичних клітин є компартменталізація внутрішньоклітинного простору, що забезпечує одночасне протікання різноспрямованих процесів обміну речовин та злагодження їх у часі.

Клітини багатоклітинних гідробіонтів, як тварин, так і рослин, об'єднано в тканини і органи, у складі яких вони взаємодіють між собою, зокрема, завдяки прямим фізичним контактам.

У всіх рослинних тканинах окремі клітини поєднано між собою за допомогою плазмодесм, а тваринні тканини мають різні типи клітинних контактів. Міжклітинні контакти у тварин на основі особливостей їхньої будови і функцій поділяють на три основні типи: якірні, щільні ізоляційні та щілинні комунікаційні. Окрім того, існують деякі особливі види сполучень між клітинами, такі як електричні і хімічні синапси нервової системи та імунологічні синапси (між Т-лімфоцитами й антигенпрезентуючими клітинами). Їх за функціональною ознакою об'єднують в окрему групу – контакти, що передають сигнали.

Тема: Структурно-функціональна організація клітин гідробіонтів

1. Фізичні властивості клітин гідробіонтів
2. Організація клітинного простору
3. Органоїди клітин та фізичні процеси в них

Клітина є головною структурно-функціональною одиницею усіх живих організмів. У ній зосереджені їх основні властивості, до яких належать:

- можливість використовувати енергію, раніше акумульовану в органічних сполуках;
- здатність підтримувати обмін речовин і енергії із зовнішнім середовищем;
- здатність адаптуватися до змін зовнішнього середовища;
- здатність забезпечувати сталість внутрішнього середовища;
- здатність видозмінюватися у ході розвитку;
- здатність розмножуватися;
- здатність реагувати на подразнення.

Одними з найперших фізичних характеристик живих клітин виступають їх розміри та форма, які можуть бути найрізноманітнішими у гідробіонтів різних рівнів складності біологічної організації.

Еукаріотичні клітини рослинних і тваринних організмів мають спільне походження і подібну будову.

Вони складаються із цитоплазми, мають ядро і відокремлені від зовнішнього середовища мембранами.

Цитоплазма забезпечує діяльність клітини як єдиної цілісної системи. Вона являє собою напіврідке внутрішнє середовище клітини, де розташовані постійні структурні компоненти – органоїди і тимчасові компоненти – включення.

Безструктурна частина цитоплазми – гіалоплазма – це розчин органічних і неорганічних речовин, який може змінювати свою в'язкість і пружність. Вона складається з води і біополімерів, більшість із яких, як правило, має білкове походження. Більшість речовин у клітині утворюють колоїдні розчини. Молекули біополімерів здатні створювати тимчасові асоціації різних розмірів, що надає цитоплазмі властивостей твердого тіла. Розщеплення асоціацій сприяє прояву рідинних властивостей цитоплазми. Внутрішній вміст клітини характеризується динамічною зміною дисперсного стану по типу золь – гель. Важливе значення у житті клітини відіграє адсорбція – вибіркоче поглинання речовин із рідкого середовища поверхневим шаром твердого тіла. З адсорбції у клітині починається більшість реакцій, пов'язаних з диханням, живленням й іншими процесами. З нею

пов'язана узгоджена дія різних ферментів, внаслідок чого посилюється або уповільнюється обмін речовин.

Частина біополімерів формують мембрани, які надають структурованості внутрішньому середовищу клітини.

Структурну основу всієї цитоплазми, так званий цитоскелет, формують особливі білки, які здатні перетворювати хімічну енергію у механічну роботу. Це скоротливі білки, подібні тим, із яких побудовані м'язи тварин. Завдяки густій сітці мембран всередині клітини утворюється сукупність відділів, що створює умови для розмежування різних біохімічних процесів у просторі. Такі процеси можуть протікати одночасно у різних частинах цитоплазми, не заважаючи один одному. Значну роль у процесах структуроутворення у цитоплазмі відіграють іони і молекули низькомолекулярних сполук із полярними групами.

Цитоплазма здатна рухатися зі швидкістю біля 5 – 7 м/с. Рухи цитоплазми – циклози, – відіграють важливу роль у життєдіяльності клітин, забезпечуючи обмін речовин між клітинами. Розрізняють кругові і сітчасті циклози. Швидкість руху цитоплазми залежить від температури зовнішнього середовища.

Речовини, які надходять у клітину, або зв'язуються самою цитоплазмою, або потрапляють у клітинний сік. Розчини солей і цукрів високої концентрації не проникають у цитоплазму, а відтягують із неї воду. При цьому цитоплазма відходить від стінок клітин. Таке явище отримало назву плазмолізу.

Цитоплазма має дві розмежувальні мембрани – на її поверхні розташована плазмолема, а на поверхні вакуолей – тонопласт. Тонопласт при загибелі клітин відмирає останнім. Клітинні мембрани виконують бар'єрну, транспортну, захисну функції.

До загальних особливостей клітин, які піддаються об'єктивній реєстрації і обумовлюють їхні функції відносяться:

- рухомість;
- подразливість;
- метаболізм;
- розмноження.

За допомогою світлової мікроскопії у клітині можна виділити крупні органоїди – ядро і пластиди.

Дрібні органоїди клітин – мітохондрії і рибосоми, а також структурні елементи цитоплазми (ендоплазматичний ретикулум і апарат Гольджі) можна побачити лише за допомогою електронного мікроскопа.

Тема: **Біоелектрогенез у гідробіонтів. Загальні положення**

1. Поняття про біоелектричні явища
2. Поняття про збудливі тканини
3. Мембранний потенціал спокою
4. Мембранний потенціал дії
5. Поширення потенціалу дії нервовими волокнами

Однією з найбільш характерних властивостей живих клітин є їхня **збудливість**, тобто здатність відповідати на дію різноманітних подразників збудженням (змінюючи фізіологічних показників). В основі збудливості клітин лежить **електрична активність**.

Електричний струм здатні генерувати нервові, м'язові і залозисті клітини усіх живих організмів.

Електричний струм – це упорядкований, спрямований рух заряджених частинок у просторі. Заряди, які створюють електричний струм, називаються **носіями струму**. Носіями струму можуть бути електрони, аніони і катіони.

Електричний струм, як правило, виникає під дією **електричного поля**. Може виникати він також і під дією **змінного магнітного поля**.

Електричне поле змушує рухатися вільні носії заряду. Зміна магнітного потоку створює вихрове електричне поле, яке й призводить до руху носіїв заряду.

Основу об'єму живих клітин гідробіонтів складає вода. У ній розчинені різноманітні речовини, частина з яких є електролітами. Вони здатні дисоціювати на іони. Через те, що молекула води є диполем, у розчинах електролітів на взаємодію її молекул з розчиненою речовиною накладається електричне поле.

У живих організмах електричний струм виникає внаслідок хімічних перетворень речовин і внаслідок існування концентраційних та температурних градієнтів.

Перші дані про існування біоелектричних явищ були отримані у третій чверті XVIII століття при вивченні природи електричних розрядів риб, що користувалися ними для захисту чи нападу.

Біоелектричні явища – це різниця потенціалів, яка виникає у клітинах чи тканинах організмів у процесі їхньої нормальної життєдіяльності. Ці явища можна реєструвати, використовуючи трансмембранний спосіб реєстрації.

Розрізняють:

- потенціал спокою або мембранний потенціал;
- потенціал дії.

Оскільки гідробіонти представлені організмами різної складності біологічної організації – від найпростіших до ссавців, у них можна прослідкувати ускладнення організації збудливих тканин – від окремих ділянок клітинних мембран до складних органів і систем, що генерують електричний струм.

Усі тканини живих організмів, у тому числі і гідробіонтів, під дією подразників переходять зі стану відносного фізіологічного спокою у стан активності (збудження). Найбільша ступінь активності спостерігається у нервовій і м'язовій тканинах тваринних організмів.

Кількісною мірою збудливості є **поріг збудження**, тобто мінімальна величина подразника, здатна викликати відповідну реакцію. Подразник меншої за поріг сили називають – **підпороговим**, а більшої – **надпороговим**.

За природою діючого агента подразники бувають механічними, хімічними, електричними, температурними.

За спеціалізацією дії подразники поділяються на адекватні і неадекватні.

Найбільш загальним, адекватним природним подразником для всіх клітин і тканин багатоклітинних організмів є нервовий імпульс.

Усі живі клітини обмежені ліпо-протеїновою мембраною. По обидва боки мембрани між вмістом клітини (цитоплазмою) і позаклітинною рідиною існує електрична різниця потенціалів – **мембранний потенціал**. Зміни мембранного потенціалу складають основу життєдіяльності клітин і забезпечують переробку інформації. Різниця потенціалів у спокої між внутрішнім вмістом клітини і клітинною мембраною є постійною і складає 50 – 70 мВ (для різних типів клітин вона може специфічно коливатися у діапазоні від 50 до 100 мВ). Така різниця потенціалів називається **мембранним потенціалом спокою**.

При подразненні клітини різко зростає проникність її мембрани для іонів Na^+ і вони спрямовуються у цитоплазму, знижуючи потенціал спокою до нуля, а потім збільшуючи різницю потенціалів протилежного значення до 80 – 110 мВ. Така короткочасна (0,004 – 0,005 сек.) зміна різниці потенціалів називається **мембранним потенціалом дії**.

За своєю амплітудою (100 – 120 мВ) мембранний потенціал дії на 20 – 50 мВ перевищує величину мембранного потенціалу спокою. Внутрішня сторона мембрани на короткий час стає зарядженою позитивно по відношенню до зовнішньої сторони. Це явище отримало назву **реверсія заряду** або «**овершут**».

Для нервових і м'язових волокон характерне проведення імпульсів. Вони є циліндричними провідниками. Їхній внутрішній вміст має відносно низький питомий опір. Він обмежений від зовнішнього середовища мембраною. У стані спокою нервові і м'язові волокна проводять електричний струм як коаксіальний кабель. При поширенні потенціалу дії відмічається повне збудження кожної точки нервового волокна, так що амплітуда потенціалу дії всюди однакова. Збудження

поширюється за допомогою електротонічних зв'язків від збуджених ділянок мембрани до ще не збуджених.

Необхідність відкриття іонних каналів на послідовних ділянках клітинних мембран робить проведення потенціалу дії дуже повільним – близько 0,5 – 1 м/с, ширина одномоментно активованої зони (**фронт ПД**) становить близько 1 мм.

Швидкість поширення імпульсів можна збільшити, якщо нервові волокна збільшити в об'ємі. У гігантському аксоні кальмара за його товщини в 1 мм швидкість поширення імпульсів досягає 10 м/с.

Набагато швидше потенціал дії поширюється у мієлінових нервових волокнах. Це обумовлено особливостями їхньої будови: тільки дуже короткі ділянки цих волокон (перехвати Ранв'є) покриті звичайною клітинною мембраною. Інші ділянки мають мієлінову оболонку, яка виступає своєрідним ізолятором. При проведенні струму, він по суті, не йде через мембрану ділянок між перехватами Ранв'є, а стрибкоподібно поширюється самими перехватами. Час проведення нервових імпульсів, таким чином, практично дорівнює нулю – збудження перескакує від одного перехвату до наступного (це так зване **сальтаторне** проведення). Швидкість «стрибка» визначається товщиною мієлінової оболонки. При загальному діаметрі волокна 1 мкм вона складає 3 м/с, при максимальному діаметрі у 22 мкм – 120 м/с. Крім різкого збільшення швидкості проведення, сальтаторний варіант є дуже економічним, оскільки зміни іонного балансу в результаті формування потенціалу дії відбуваються тільки в зоні перехватів Ранв'є.

У безмієлінових нервових волокнах збудження проводиться з деяким згасанням – декрементом, у мієлінових – без згасання.

Тема: Біоелектрогенез у риб

1. Коротка характеристика різних видів електричних риб
2. Електрогенератори риб
3. Електричні розряди риб
4. Електричні рецептори риб

Клас риб включає понад 20 тис. видів, близько 300 з них здатні генерувати і використовувати у своєму житті біоелектричні поля. Відповідно до цього всіх риб поділяють на три групи:

- **сильноелектричні;**
- **слабоелектричні;**
- **неелектричні.**

Сильноелектричні риби мають електричні органи і створюють навколо себе сильні електричні поля з метою нападу або оборони. До сильно електричних відносяться: електричний вугор, електричні скати, електричний сом і американський звіддар.

Слабоелектричні риби випромінюють відносно слабкі електричні сигнали. У 1958 р. англійський учений Г.Ліссман встановив, що вони застосовують свої електричні поля для електролокації чи електронавігації.

Всі інші види риб вважаються неелектричними.

Вивчення механізмів, які риби застосовують для генерації і сприйняття електричних полів, характеристики цих полів мають важливе наукове і практичне значення. Дані досліджень можуть бути використані у медицині, рибному господарстві та біоніці.

Гідробіонти, мешкаючи у водному середовищі, яке має порівняно високу електропровідність, у процесі еволюції набули здатності генерувати електричний струм.

Спеціалізовані електрогенераторні клітини електричних риб утворилися із **м'язових** (у більшості видів), **нервових** (у деяких електричних вугрів) або **залозистих** (у електричного сома) клітин.

Типова електрична клітина являє собою видозмінену м'язову рухову клітину. Товщина таких клітин дуже мала, тому їх називають **електричними пластинками**. Електрична пластинка покрита оболонкою – **електролемою**.

Механізм виникнення потенціалів у електричних пластинках риб однаковий для клітин усіх типів: генерація електричних імпульсів зумовлена перерозподілом іонів по обидві сторони мембран.

Електричні органи всіх сильно- і слабоелектричних риб є парними утвореннями, симетрично розташованими по боках тіла. Незважаючи на видові морфологічні відмінності, вони мають єдиний план будови і складаються з елементарних електрогенераторів – **електричних пластинок**, зібраних у декілька стовпчиків, де вони розташовуються одна над одною. Так як у пластинок полярність різних сторін неоднакова, то зв'язок їх у стовпчиках відбувається по типу **послідовного електричного сполучення**, що значно збільшує загальний потенціал розряду. Ряди стовпчиків також з'єднані між собою, але вже по типу **паралельного електричного сполучення**. Завдяки цьому збільшується сумарна сила струму розряду. Орієнтація стовпчиків в електричних органах специфічна для певних видів риб та обумовлює полярність їх тіла під час розряду.

Управління розрядами електричних органів риб здійснюється зі спеціальних нервових центрів, розташованих у **довгастому мозку** або за допомогою **мотонейронів спинного мозку**.

Риби здатні генерувати специфічні для кожного виду розряди. За характером генерованих розрядів розрізняють два типи риб. До першого відносять риб, які використовують електричні органи для оборони і нападу – вони генерують розряди тільки у відповідь на стимуляцію або при зустрічі з жертвою. Це всі сильно електричні риби і звичайні скати.

Риби другого типу випускають слабкі і дуже короточасні розряди з постійною або змінною частотою проходження імпульсів. Це всі прісноводні слабоелектричні риби.

Деякі риби, наприклад, електричний вугор, займають проміжне положення, так як здатні генерувати розряди, характерні і для сильно, і для слабоелектричних видів.

Риби здатні сприймати електричні розряди. Електрорецепція відіграє важливу роль у їх життєдіяльності. Проте, чутливість риб до електричного струму неоднакова. За чутливістю риб поділяють на дві групи:

1) риби, які не мають специфічних електрорецепторів, але сприймають електричні імпульси вільними нервовими закінченнями (короп, форель, карась і т.д.); вони відчують напругу від 0,008 до 0,08 В/см);

2) риби, які мають електрорецептори (мінога, химера, акули, скати і т.д.); вони відчують напругу від десятих до сотих долей мВ).

Численні дослідження показали, що майже у всіх, як слабоелектричних, так і сильноелектричних риб, спеціалізованими електрорецепторами є похідні органів чуття бічної лінії: у акул і скатів – це ампули Лоренцині (цим рецепторам присвоєно ім'я італійського вченого, який описав їх у 1678 р.); у мормірид – бугоркові органи; у сомів – ямкоподібні органи.

Відомо, що аналітичними центрами органів чуття бічної лінії риб є мозжечок і довгастий мозок. Саме в них і здійснюється аналіз електричної інформації. У зв'язку з цим мозжечок у деяких слабоелектричних риб сильно розвинений.

Кодування електричної інформації здійснюється у результаті виникнення нервового імпульсу залежно від зміни інтенсивності зовнішнього електричного поля. Є ще один спосіб кодування – «умовно-частотний». Нервові волокна проявляють спонтанну активність, неузгоджену з розрядами електричного органу. Якщо в зовнішнє електричне поле потрапляють будь-які об'єкти, нервові волокна певним чином змінюють частоту проходження розрядів через електричний орган.

Риби сприймають електричне поле постійного струму у вигляді **орієнтовної рухової реакції** (вони здригаються при включенні і виключенні струму). При збільшенні напруги поля настає **оборонна реакція** – так звана стадія відлякування: риба сильно збуджується і намагається вийти із зони дії поля. Якщо напругу збільшити ще більше, відбувається **анодна реакція**. При подальшому підвищенні напруги спостерігається **електронаркоз**: риба втрачає рівновагу, рухливість і перестає реагувати на зовнішні подразники. Ще більше підвищення напруги електричного поля викликає загибель риби.

Дещо по-іншому риби реагують на електричні поля змінного струму. Перші дві стадії приблизно ті ж, але за подальшого підвищення напруги настає стадія **осцілотаксиса** – риба розташовується поперек ліній струму. Ще більше збільшення напруги викликає **електронаркоз**.

Змінний струм спричиняє у риб більш сильне збудження, ніж постійний. Після його впливу риба довго не може прийти в нормальний стан – вона знаходить ься у стані своєрідного електрогіпнозу.

Ще більш різноманітною і складною буде поведінка риб у полях імпульсного електричного струму.

Тема: Основи біомеханіки гідробіонтів

1. Типи руху гідробіонтів. Пристосування до плавучості у водному середовищі
2. Нем'язові форми рухомості гідробіонтів
3. Опорно-руховий апарат тварин
4. Основи фізики м'язового скорочення
5. Робота м'язів риб

Пристосування планктонних і нектонних організмів до пелагічного способу життя зводяться до забезпечення плавучості. Це може бути досягнуто за рахунок підвищення тертя об воду. Чим менше тіло, тим більше його питома поверхня і більше тертя. Тому найбільш характерна риса планктонних організмів – малі і мікроскопічні розміри.

Збільшення питомої поверхні може досягатися також при сплюсненні тіла, утворенні різних виростів, шипів й інших придатків. З погіршенням умов плавучості (підвищення температури, зниження солоності) часто спостерігається і зміна форми тіла планктонних організмів.

Іншою можливістю збільшення плавучості виступає зменшення залишкової маси, тобто різниці між масою організму і витісненої ним води. Це може досягатися за рахунок підвищення вмісту води у тілі. У плаваючих організмів відбувається редукція важких скелетних утворень. Поширеним способом зниження щільності є накопичення жиру. Ефективним засобом підвищення плавучості є газові включення у цитоплазмі або спеціальні повітряні порожнини у тілі гідробіонтів.

Активне плавання пелагічних видів гідробіонтів здійснюється за допомогою джгутиків, війок, згинання тіла, веслування кінцівками і реактивним способом. Для забезпечення високої швидкості руху у гідробіонтів формується обтічна форма тіла, специфічна будова шкіряних покривів і виділення слизу.

Тривимірність водного середовища дозволяє гідробіонтам рухатися у вертикальній площині – спливати і занурюватися. Тіло плаваючих тварин, які мають негативну плавучість, більш опукле зверху, а у організмів з позитивною плавучістю – знизу. У результаті під час їхнього руху діє додаткова підйомна або відповідно заглиблююча сила, завдяки чому тварини активно пересуваються і майже не витрачають енергії на підтримку свого положення у товщі води. Надзвичайно поширений рух організмів вгору за допомогою локомоторних органів, а вниз – під дією сили тяжіння.

Активне пересування гідробіонтів у воді можливе за рахунок стрибків. Деякі пелагічні тварини, розганяючись у воді, вистрибують з неї, здійснюючи плануючий політ у повітрі.

Іншою формою активного переміщення у водних організмів є ковзання.

Крім активного пересування гідробіонтам властиве пасивне переміщення. Рухливість водного середовища дозволяє їм широко використовувати природні сили для розселення, зміни біотопів, переміщення у пошуках корму, місць розмноження і т.д., компенсуючи таким шляхом недостатність засобів для активного руху або просто заощаджуючи енергію.

Нем'язові форми рухливості гідробіонтів включають амебоїдний рух та биття війок і джгутиків. Робота, яка виконується під час руху війок чи джгутика, спрямована на подолання сил внутрішнього тертя середовища і пружного опору органели вигину.

Гідробіонти складної біологічної організації (вищі ракоподібні, молюски, риби, водні ссавці) використовують м'язові форми рухливості.

Основне призначення їх опорно-рухового апарату – забезпечення динамічних переміщень тіла або окремих його частин у просторі чи зберігання статичної рівноваги.

Основними елементами опорно-рухового апарату гідробіонтів є кістки, м'язи та зв'язки. Кістки, зв'язані одна з одною у рухомі ланки, утворюють кінематичні ланцюги. Окремі ланки такого ланцюга можна розглядати як найпростіший механізм – важіль. Рух кісток, які утворюють важіль, забезпечується м'язами. Скорочуючись, вони змінюють положення кісток, до яких прикріплені.

М'язи являють собою тканини, які характеризуються здатністю скорочуватися, тобто змінювати свою довжину і викликати відповідні зміни просторового положення всього тіла чи його частин.

У хребетних тварин є три типи м'язових тканин – скелетні або поперечно-посмуговані, серцеві та гладенькі.

Тканина скелетного м'яза формується з м'язових волокон – багатоядерних клітин циліндричної форми діаметром 20 – 80 мкм і завдовжки від декількох міліметрів до десятків сантиметрів, які оточені оболонкою – сарколемою.

Оскільки риби мешкають у воді і їх м'язам не потрібно підтримувати вагу тіла, м'язові тканини риб мають свої особливості. Вони згруповані у блоки – міотоми, які відмежовуються один від одного шарами колагену, що називаються міосептами. Склад м'язів риб визначається їхнім способом життя.

Тема: **Сталість внутрішнього середовища організму риб.**

Основи гемодинаміки

1. Поняття про гомеостаз. Системи регуляції внутрішнього середовища риб
2. Реологічні властивості крові
3. Основні закони гемодинаміки
4. Біофізичні функції елементів серцево-судинної системи

Біофізичні аспекти функціонування організмів гідробіонтів, розглянуті у попередніх лекціях, дозволяють їм взаємодіяти з мінливим зовнішнім середовищем та створюють можливості для пристосування (адаптації) до його змін і використання цих змін для задоволення власних потреб.

Разом з тим, найважливішою властивістю усіх живих організмів є також їхня здатність підтримувати сталість свого внутрішнього середовища. Така здатність називається **гомеостазом**.

У багатоклітинних тваринних організмів більша частина клітин не контактує із зовнішнім водним середовищем, тому у процесі еволюції у них сформувалася спеціалізована система, яка виконує функцію внутрішнього середовища організму.

Чим вище організованими є біологічні системи, тим більше гомеостатичних механізмів вони мають. Серед гідробіонтів найбільш потужні і складні гомеостатичні механізми властиві риbam і водним ссавцям.

Основою системи регуляції внутрішнього середовища у них є кровообіг та лімфатична система.

Кров, як риб, так і водних ссавців, є саме тим внутрішнім середовищем, фізико-хімічні властивості якого підтримуються на чітко регульованому рівні. Через кров відбувається надходження до тканин організму кисню та поживних речовин і видалення з них продуктів життєдіяльності.

Кров'ю називається рідка рухома тканина тваринних організмів, яка циркулює у кровоносних судинах. Її клітини не з'єднані одна з одною. Її міжклітинна рідина – плазма. Плазма крові сполучається з іншими міжклітинними і міжтканинними рідинами організму, але відділена від них стінками кровоносних судин.

Гомеостатична функція крові може здійснюватися лише завдяки її безперервній циркуляції у судинному руслі, яка підтримується ритмічними скороченнями м'язової стінки серця. Стінки судин добре проникні для води і

низькомолекулярних сполук, таких, як глюкоза, аміак, амінокислоти, кисень, вуглекислота, і мало проникні для макромолекул, наприклад, для білків.

Кров тече по судинах завдяки різниці тисків в початковій і кінцевій частинах кровоносної системи риб. Кров'яний тиск – це сила, з якою кров тисне на внутрішню поверхню судин. Безперервність кровотоку обумовлена тиском пружних стінок судин на кров. Артеріальний тиск змінюється відповідно систолі і діастолі серця. Різниця між величинами систолічного і діастолічного тиску називається **пульсовим тиском**.

Серцевому м'язу притаманна збудливість, скоротливість, провідність і автоматизм.

Кровообіг характеризується не тільки тиском крові, але й швидкістю кровотоку, від якої залежить час колообігу крові, тобто час, протягом якого кров виходить із серця, проходить через зябра, судини тіла і знову повертається до серця. Ритмічна робота серця забезпечує періодичне вигання крові в артеріальну систему. Скорочення (систола) і розслаблення (діастола) серця складають серцевий цикл.

Міжклітинна рідина у тканинах постійно поповнюється за рахунок фільтрації рідкої частини крові крізь стінки капілярів. Частина цієї рідини знову потрапляє у русло кровоносної системи через стінки капілярів у результаті зниження тиску в венулах. Однак значна частина її відводиться у русло кровоносної системи лімфатичними судинами. Лімфатична система риб виконує дренажну й транспортну функції. Частина речовин, засвоєних у кишківнику, минаючи ворітну систему печінки, транспортується лімфою безпосередньо до місць депонування, наприклад, до жировиків брижейки.

Під реологією крові розуміють вивчення її біофізичних особливостей як в'язкої рідини.

В'язкість (внутрішнє тертя) **рідини** – це її властивість чинити опір переміщенню однієї її частини щодо іншої. В'язкість рідини обумовлена міжмолекулярними взаємодіями, які обмежують рухливість молекул. Наявність в'язкості призводить до дисипації (переходу) енергії зовнішнього джерела, яке викликає рух рідини, у тепло. Основний закон руху в'язких рідин був встановлений І.Ньютоном (1687). Він стверджує, що сила внутрішнього тертя (в'язкість) гальмує швидкі шари і прискорює повільні.

За в'язкістю рідини поділяють на два типи: ньютонівські і неньютонівські.

Ньютонівською називається рідина, коефіцієнт в'язкості якої залежить тільки від її **природи і температури**. Для ньютонівських рідин сила в'язкості прямо пропорційна градієнту швидкості.

Неньютонівською називається рідина, коефіцієнт в'язкості якої залежить не тільки від природи речовини і температури, а і від **умов перебігу (градієнта швидкості)**. Прикладом неньютонівських рідин є суспензії.

Кров відноситься до неньютонівських рідин, що пов'язано із її внутрішньою структурою, яка являє собою суспензію формених елементів у плазмі. Формені елементи, зокрема еритроцити, здатні до агрегації залежно від умов протікання крові: у великих судинах градієнт швидкості руху крові невеликий, еритроцити збираються в агрегати, в'язкість крові висока; у невеликих судинах градієнт швидкості зростає, агрегати еритроцитів розпадаються, в'язкість крові знижується. У вузьких судинах еритроцити легко деформуються і проходять не руйнуючись навіть у дуже дрібних капілярах. При цьому площа дотичної поверхні еритроцитів і стінок капілярів зростає, що сприяє перебігу обмінних процесів.

Плазма крові – ньютонівська рідина, вміст води у ній складає понад 90%.

Режими руху крові у судинах поділяють на ламінарні і турбулентні течії. **Ламінарні течії** – це впорядкований рух рідини, за якого вона переміщається шарами, паралельними напрямку течії. Для ламінарних течій характерні плавні паралельні траєкторії. Зі збільшенням швидкості руху ламінарна течія переходить у турбулентну.

За **турбулентного руху** відбувається інтенсивне перемішування різних шарів рідини, у потоці виникають численні завихрення різних розмірів. Частинки крові здійснюють хаотичний рух за складними траєкторіями. Для турбулентного руху характерна нерегулярна, невпорядкована зміна швидкості у кожній точці потоку.

Режим руху рідин характеризується числом Рейнольдса (Re).

Коли число Рейнольдса менше критичної величини, яка складає 2300, має місце ламінарний рух; якщо $Re > 2300$, рух стає турбулентним.

Порушення гемодинамічних показників судинної системи і ультраструктури капілярних стінок викликає порушення обміну речовин в організмі риб.

Тема: **Біоакустика риб**

- 1) Поняття про біоакустику риб. Особливості поширення звуків у водному середовищі
- 2) Фізичні особливості звуків риб у зв'язку зі структурою і роботою їхніх органів звучання
- 3) Слух риб

Біоакустика – це науковий напрям, який займається вивченням звукової комунікації і сигналізації між особинами одного або різних видів живих організмів.

Аналізуючи основні акустичні властивості і акустичну систему зв'язку риб у водоймах, біоакустика риб вивчає морфологічні і функціональні структури апаратів звучання риб і пов'язані з ними фізичні особливості їхніх звуків, слух і акустичну сигналізацію риб.

Знання про звуки риб використовуються для розробки способів розвідки промислових запасів і їх локалізації за рахунок використання звукових приманок для промислово цінних видів риб, або відлякування непромислових видів. Ці способи важливі не тільки для оптимізації процесів промислу, а й для організації раціонального використання біоресурсів за рахунок селективного вилову риб певних видів, вікових груп, розмірів, а також для управління поведінкою риб на гідротехнічних, зокрема, рибопропускних спорудах.

Велике значення звуків у житті риб і технічна простота генерування акустичних сигналів риб у воду створюють сприятливі передумови використання біоакустики у практиці рибництва.

Звук – це коливальний рух частинок пружного середовища, що поширюється у вигляді хвиль.

Людина здатна сприймати звук, якщо частота коливань знаходиться у межах від 16 Гц до 20 кГц. Коливання з частотою нижче 16 Гц називаються **інфразвуком**, вище 20 кГц – **ультразвуком**.

Вода у порівнянні з повітрям має більшу щільність і характеризується меншою здатністю до стиснення. У зв'язку з цим швидкість поширення звуку у воді у 4,5 рази більша, ніж у повітрі і складає **1440 м/сек**.

Швидкість поширення звуку залежить від частоти коливання і довжини звукової хвилі.

У водній товщі швидкість поширення звуків спочатку поступово знижується через зниження температури води і на певній глибині (біля 1200 м)

досягає свого мінімуму, а потім починає швидко збільшуватися за рахунок підвищення тиску води. Починаючи з глибини 1200 м, де температура води практично постійна, зміна швидкості звуку відбувається за рахунок зміни тиску. На великих глибинах, у зв'язку з цим, швидкість звуку зростає.

Так як звукові хвилі завжди вигинаються до ділянок середовища, де їхня швидкість найменша, то вони концентруються у шарах з мінімальною швидкістю поширення звуку. Такі шари отримали назву **підводного звукового каналу (коридору)**. Звук, який потрапив у звуковий канал (коридор), може поширюватися без послаблення на величезні відстані. Цю особливість поширення звукових хвиль у водному середовищі необхідно враховувати при розгляді звукової сигналізації у глибоководних риб.

При поширенні у воді звукові хвилі можуть **відбиватися** від підводних об'єктів (берегова лінія, елементи рельєфу, дно,), **заломлюватися**, **поглинатися** підводними об'єктами, піддаватися **дифракції** й **інтерференції**.

Відбивання звукових хвиль відбувається, коли довжина хвилі менше величини перешкоди. Величина енергії відбитої хвилі залежить від того, як сильно відрізняються між собою акустичні опори середовищ, на межу яких падають звукові хвилі. Під **акустичним опором** середовища розуміють добуток щільності середовища на швидкість поширення у ньому звуку.

Завдяки відбиттю звукової хвилі від перешкод виникає **відлуння**. Людське вухо не розрізняє дуже близькі за часом звуки, тому мінімальна відстань, з якої людина чує відлуння складає приблизно 16 м.

Заломлення хвиль спостерігається, коли довжина хвилі більше величини перешкоди. У цьому випадку можна чути, що відбувається за перешкодою, не бачачи джерела випромінювання звуку.

Відхилення звукових хвиль від прямолінійного поширення називається **дифракцією** звуку.

Випромінювання звуку певним джерелом відбувається у зв'язку з його коливаннями. Кожне джерело має власну частоту коливань, яка визначається його розмірами і пружними властивостями. Якщо джерело формує коливання, частота яких співпадає з його власною частотою, спостерігається значне збільшення амплітуди коливань – **резонанс**.

Звук, як і будь-які інші коливання, може не тільки резонувати, але і створювати більш складні картини. Наприклад, у випадку, коли ми маємо звукові коливання однієї частоти і різниці фаз, відбувається **інтерференція** звуку. Коливання будуть накладатися і сумарна звукова хвиля буде залежати від того, як розташовані по відношенню одна до одної хвильові фази. У точках, де фази хвиль однакові, їх амплітуда буде максимальною, а у протифазі – амплітуда буде дорівнювати нулю. Тобто будуть місця, де звук буде максимально гучним, а в

деяких місцях буде стояти тиша, не зважаючи на проходження через них звукових хвиль.

Поглинання звуків у воді у 1000 разів менше, ніж у повітрі. Джерело звуку у повітрі потужністю 100 кВт у воді відчувається на відстані 15 км, джерело звуку у воді потужністю всього в 1 кВт відчувається на відстані 30-40 км. Звуки різних частот поглинаються неоднаково: найбільш повно поглинаються високі звуки, найменше – низькі звуки. Пухирці води, планктон, зависі сприяють поглинанню звуків у воді. Незначне поглинання звуків у воді дозволяє використовувати їх для гідролокації і акустичної сигналізації.

Величезна кількість проведених експериментальних досліджень звучання риб показала, що риби здатні генерувати звуки в діапазоні частот від 20-50 Гц до 10-12 кГц.

Способи і характер звучання у риб різноманітні. Звуки можуть виникати механічно внаслідок рухових актів, живлення і т.д., а також формуються у результаті роботи спеціальних звукових органів.

Звуки, пов'язані з рухом риб, обумовлені гідродинамічними явищами: шумами зябрових кришок, хрустом скелетних з'єднань, вихорами навколо їх тіл. Вони видоспецифічні і використовуються для виявлення промислових скопищ певних видів риб.

Звуки, пов'язані з газовим обміном, виникають у результаті проштовхування повітря через вузькі отвори, що аналогічно явищам, які відбуваються у свистках.

Звуки, пов'язані з живленням, виникають спонтанно при захваті здобичі та перетиранні їжі. Максимальна енергія їх припадає на частоти нижче 1 кГц. Вони обумовлені поведінковими реакціями та будовою ротового апарату.

Звуки, які створюються рибами при перетиранні їжі, називаються стридуляційними. Вони формуються у результаті тертя зубів або кіскових пластинок щелеп. Залежно від розмірів і кількості зубів, характеру з'єднання пластинок ці звуки мають різні характеристики і можуть носити видоспецифічний характер.

Риби здатні створювати звуки також за допомогою плавальних міхурів.

Своєрідний пружино-мускульний звуковий апарат мають вугри, деякі сомові, пікша, тріска, миньок.

Плавальні міхури з ростом риб проходять через ряд морфологічних змін і змінюють свої розміри, що позначається на спектрі звучання. Молодь риб має «високий голос», а плідники – «низький».

Ряд риб створюють звуки, механізм виникнення яких не відомий. Такі звуки характерні бичкам, підкаменщикам, білузі. Резонатором у них виступає ротова порожнина, яка може значно змінювати свої розміри (роздуватися).

Акустичні особливості поведінки риб: їх відношення до знарядь лову, взаємовідносини хижака і жертви, підтримання контактів у зграї, акустична сигналізація можуть бути зрозумілими і вирішеними тільки при встановленні властивостей і механізмів слуху риб.

Слух – один з найважливіших дистантних рецепторів, за допомогою яких риби орієнтуються у навколишньому середовищі.

Багатьма дослідженнями встановлено, що риби здатні добре сприймати звукові коливання. Нижня межа сприйняття звуків у них складає 16 – 25 Гц, тобто низькі тони вони чують так, як і людина. Верхня межа звукової чутливості риб становить близько 6 – 7 кГц, тоді як людина добре сприймає коливання до 10 кГц. Діапазон сприйняття звуків у різних видів риб неоднаковий.

Рецепція звуку може здійснюватися в декількох відділах внутрішнього вуха риб: саккулі, утрикулі і лагені. Шляхи збудження цих структур можуть бути різними, однак у всіх випадках безпосереднім рецептором механічних коливань є вторинночутливі волоскові клітини. У найпростішому випадку звук може викликати збудження рецептора за рахунок різної інерційності утворень волоскової клітини і вершини її волосків. Такий сигнал призводить до зсуву волосків, що викликає появу внутрішньоклітинного рецепторного потенціалу.

Сприйняття звуків у риб крім внутрішнього вуха, здійснюється за допомогою органів дотику системи бокової лінії, які мають однакову будову і походження, іннервуються гілками слухового нерва і відносяться до єдиної акустиколатеральної системи, центр якої знаходиться у довгастому мозку. Бокова лінія розширює діапазон звукових коливань, що сприймаються рибами. Зокрема, низькочастотні коливання (частотою від **5 до 20 Гц**), які є результатом землетрусів, поверхневих хвиль, течій, вибухів, шумів промислових суден, сприймаються органами дотику системи бокової лінії.

Тема: **Фотобіологічні процеси у гідробіонтів**

- 1) Поняття про фотохімічні реакції та фотобіологічні процеси
- 2) Гідробіонти – фотосинтетики. Біофізика фотосинтезу
- 3) Основні типи фоторегуляційних процесів у гідробіонтів: фототаксиси, фототропізми, фотоморфогенез, фотоперіодизм

Фотобіологія – це розділ біофізики, який вивчає закономірності і механізми впливу світла на біологічні системи різної складності організації.

Світло має подвійну природу. З одного боку – це **електромагнітне випромінювання**, яке поширюється у середовищі зі швидкістю 300 000 км/с. З іншого боку – це **потік** світлових частинок (**фотонів**).

Електромагнітне випромінювання характеризується такими параметрами (рис. 1): **довжина хвилі (λ)** – відстань між двома послідовними точками у напрямку поширення періодичної хвилі, де фаза є однаковою; **частота (ν) електромагнітного випромінювання** – кількість циклів (N) за певний час (t); **хвильове число (σ)** – кількість циклів на заданій відстані, віднесена до цієї відстані.

Людина сприймає область довжин хвиль від 400 до 800 нм (це так зване видиме світло). У видимій частині спектру окремі довжини хвиль сприймаються нами як світло різного кольору: 400-420 нм – фіолетове; 420-490 нм – синє; 490-540 нм – зелене; 540-640 нм – жовте; 640-800 нм – червоне.

Оптичний діапазон довжин хвиль включає в себе також інфрачервоне (700-10 000 нм) і ультрафіолетове (400-100 нм) випромінювання.

Тварини, як правило, більш чутливі до області коротких довжин хвиль, вони здатні сприймати ультрафіолетове світло.

Ультрафіолетова область електромагнітного спектра поділяється на вакуумну (100-200 нм), дальню (200-300 нм) і ближню (300-400 нм).

Потік фотонів має корпускулярний характер. При випромінюванні світла атомами чи молекулами їхня енергія зменшується чи зростає, але неперервно, а певними порціями (квантами).

Світлові хвилі поперечно-плоскі, вони мають електричний (E) і магнітний (H) вектор напруження полів, які орієнтовані взаємно перпендикулярно. Світлова хвиля поширюється у напрямку, перпендикулярному, як до її електричного, так і до магнітного векторів. Експериментальні дослідження вказують на те, що фотохімічні та фізіологічні ефекти від дії світла на організми гідробіонтів викликані коливаннями якраз **електричного вектору** світлової хвилі.

Звичайне світло містить великий набір електромагнітних хвиль, електричні вектори яких орієнтовані випадково. Таке світло називається **неполяризованим**. Якщо ж електричні вектори усіх хвиль орієнтовані в одному напрямку, що спостерігається після проходження світла через вузьку щілину, таке світло буде **лінійно-**, або **плоскополяризованим**.

Однією з найважливіших, фундаментальних проблем біофізики є встановлення механізмів первинних взаємодій світла і біологічних систем. Такі взаємодії називаються **фотобіологічними реакціями**.

Всі фотобіологічні реакції поділяють на чотири групи:

- 1) *енергетичні* – у ході яких світлова енергія, у результаті синтезу нових органічних сполук, трансформується у хімічну;
- 2) *інформаційні* – для яких світло виступає управляючим сигналом, що запускає спеціалізовані фізіологічні механізми;
- 3) *біосинтетичні* – за яких у складному ланцюгу послідовних етапів синтезу органічних речовин представлені окремі фотохімічні стадії, що відбуваються тільки за дії світла;
- 4) *деструкційно-модифікаційні* – за яких світло ушкоджує біологічні субстрати і спричиняє деформації, мутації та летальні ефекти.

Фотобіологічні реакції можуть бути викликані тільки **поглинутим світлом**.

Інколи ж все-таки можливі хімічні реакції за дії на об'єкт не поглинутого того світла, проте у таких випадках необхідна наявність посередників – **сенсibilізаторів**. Механізм дії сенсibilізаторів полягає у тому, що вони поглинаючи світло, переходять у збуджений стан, а потім за взаємодії з молекулами біологічних субстратів передають їм надлишок своєї енергії. Сенсibilізатором фотобіологічних реакцій є, наприклад, хлорофіл.

Між кількістю променистої енергії, поглинутої молекулами речовини, і кількістю фотохімічно прореагувавших молекул існує співвідношення, виражене **законом фотохімічної еквівалентності Штарка-Енштейна**: *кількість молекул, які піддалися первинному хімічному перетворенню відповідає кількості поглинутих речовиною квантів електромагнітного випромінювання*.

При взаємодії біологічних субстратів зі світлом проявляються його хвильові і квантові властивості. Хвильові властивості виражаються у тому, що поглинання світла досягається у результаті взаємодії електронної хмари молекули речовини з електричним вектором світлової хвилі; квантова природа світла проявляється у тому, що вся енергія кванта світла поглинається молекулою відразу і без залишку (дискретний процес).

Світло різної довжини хвилі поглинається однією і тією ж речовиною чи біологічним субстратом неоднаково. Залежність поглинальної здатності речовини від довжини хвилі світла називається **спектром поглинання**. Кожна речовина має

специфічний спектр поглинання. Для забезпечення поглинання світла в організмах гідробіонтів присутні **пігменти** – речовини, здатні до вибіркового поглинання світла видимої частини спектру. Здатність пігментів до поглинання світла пов'язана з наявністю у їх молекулах одинарних і подвійних зв'язків, які правильно чергуються, це так звані кон'юговані зв'язки.

Найважливішим пігментом є **хлорофіл**, який поглинає світло з довжинами хвиль 390-710 нм. Поглинання світла цієї частини спектру запускає процеси фотосинтезу, тому таке електромагнітне випромінювання називається **фотосинтетично активною радіацією (ФАР)**.

Фотохімічні реакції дають початок **фотобіологічним процесам**. Фотобіологічні процеси – це процеси, які починаються поглинанням квантів світла біологічно функціональними молекулами і закінчуються відповідною фізіологічною реакцією організму.

До фотобіологічних процесів відносяться:

фотосинтез – синтез органічних речовин із неорганічних з використання енергії сонячного світла;

фототаксис – рух організмів до джерела випромінювання (позитивний) чи від нього (негативний);

фототропізм – розташування тіла гідробіонтів таким чином, щоб максимальна площа його мала контакт з електромагнітним випромінюванням;

фотоперіодизм – регуляція добових і річних циклів життя гідробіонтів за рахунок циклічних впливів «світло – темрява», «тривалість світлового періоду»;

зір – сприйняття світла фоторецепторами, яке супроводжується перетворенням світлової енергії у енергію нервових імпульсів.